



## **Pro gradu**

## **Geologia**

Kattegatin ja sen ympäristön paleobatymetrian spatiaalinen  
mallinnus 11000, 7900 ja 4900 vuotta sitten

Petri Montonen

2020

## **Ohjaajat**

Mia Kotilainen, Aarno Kotilainen ja Seija Kultti

Geologian ja geofysiikan maisteriohjelma

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA  
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN  
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta – Fakultet – Faculty		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme	
Matemaattis-luonnontieteellinen		Geologia	
Erikoistumislinja – Studieinriktning – Study track			
Kvartääri- ja ympäristögeologia			
Tekijä – Författare – Author			
Petri Montonen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Kattegatin ja sen ympäristön paleobotanometrian spatiaalinen mallinnus 11000, 7900 ja 4900 vuotta sitten.			
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
Pro Gradu	11/2020	61 s. ja 3 liitettä	
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Maankohoamisesta johtuva altaan kallistuminen ja merenpinnan korkeus ovat vaihdelleet Kattegatin alueella Veiksel-jääkauden loppupuolella ja holoseenin aikana. Näillä vaihteluilla on ollut suuri vaikutus myös Itämeren valtameriyhteyteen. Merenpinnan muutoksien selvitystä varten Kattegatilta ja sen ympäristöstä Tanskan, Norjan, Ruotsin ja Saksan rannikoilta kerättiin muinaisrantapintoja ja järvien kuroutumistasoja vertaisarvioituista julkaisuista (81 rantapintapistettä). Saatavilla olevan aineiston perusteella ArcMap ohjelmistolla tehtyyn spatiaaliseen mallinnukseen valikoituivat aikaikkunat 11000, 7900 ja 4900 vuotta sitten. Mallinnuksessa käytettiin rantapintapisteiden lisäksi näiltä alueilta arvioita altaan kallistuksesta ja rannansiirtymiskäyriä. Mallinnuksessa luotiin apupistekäyriä, joilla mallinnus ulotettiin pisteiden välisille ja ulkopuolisille alueille ja niiden sijoittelussa käytettiin muun muassa nykyisen maankohoamisen isobaaseja, jäätikön reunamuotoja ja jäätikön paksuuskäyriä. Apupistekäyrät interpoloitiin Triangulated Irregular Network (TIN) menetelmällä. Interpoloitujen tasojen avulla luotiin korkeusmallit aikaikkunoista. Korkeusmalleissa näkyy selkeitä muutoksia mallinnusten välillä. 11000 vuotta sitten Itämerellä oli kapea valtameriyhteys Vänernin kautta, Etelä-Ruotsin ja Jyllannin välillä oli maayhteys Kattegatilla, josta suurin osa oli kuivaa maata ja Oslovuonon alueella mannerjäätikkö oli vielä yhteydessä valtamereseen. 7900 vuotta sitten Vänernin valtameriyhteys oli katkennut, Tanskan salmet olivat auenneet ja Kattegatin koillisosissa suhteellinen merenpinta oli nykyistä korkeammalla ja lounaisosissa nykyistä matalammalla. 4900 vuotta sitten Saksan koillis- ja luoteisosissa suhteellinen merenpinta oli nykyistä matalammalla, Kattegatilla ja Skagerrakilla suhteellinen merenpinta oli nykyistä korkeammalla ja myös Tanskan salmien alueella vallinnut nykyistä korkeampi suhteellinen merenpinta johti nykyistä suolaisempaan vaiheeseen Itämerellä. Tutkimuksessa rajallisesta pistemäisestä aineistosta saatiin spatiaalisesti kattavaa tietoa merenpinnan muutoksista Kattegatin alueella.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Kattegat, muinaisranta, ArcMap, merenpinta, Triangulated Irregular Network, holoseeni, spatiaalinen mallinnus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA  
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN  
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta – Fakultet – Faculty		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme	
Science		Geology	
Erikoistumislinja – Studierikning – Study track			
Quaternary and Environmental Geology			
Tekijä – Författare – Author			
Petri Montonen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Palaeobathymetric spatial modeling of Kattegat and surrounding areas 11000, 7900 and 4900 years ago.			
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
MSc Thesis	11/2020	61 pp. and 3 appendices.	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Tilting, caused by glacioisostatic land uplift, and sea level have changed dramatically in regions near the Kattegat during Late Weichselian and Holocene. These changes have also had a profound impact on the Baltic Sea by affecting its connections to oceans. To estimate the relative sea level in the Kattegat and nearby regions on the coasts of Denmark, Sweden, Norway and Germany, dataset of 81 raised shorelines and lake isolation thresholds was collected from published peer-reviewed journals. Based on this dataset three spatial models of 11000, 7900 and 4900 year ago time windows were made with ArcMap program. In addition to the dataset, shore level displacement curves and tilting estimates were used in the models. Dummy-point curves of land uplift isobases were made as part of modeling and many methods were used to place these including following current land uplift isobases, shapes of ice sheets and glacial thickness and combinations of other methods. Triangulated Irregular Network (TIN) interpolation method was used to interpolate areas between these isobases and to create sea level layers representing sea levels in the models. Clear changes are visible in different time windows. 11000 years ago the Baltic Sea basin had a narrow connection to ocean through the Lake Vänern, Southern-Sweden and Jylland were connected by land and continental ice sheet was still connected to ocean at the Oslofjord. 7900 years ago ocean connection of the Lake Vänern had terminated, Danish Straits had opened up and sea level was higher than today in north-eastern modeled areas and lower than today in south western areas. 4900 years ago relative sea levels at north-western and north-eastern coasts of Germany were lower than today, Kattegat and Skagerrak had higher sea levels than today and so did the Danish Straits, leading to higher salinity conditions at the Baltic Sea. In this study limited point data was used to obtain spatially extensive data of sea level changes in the Kattegat and the surrounding areas.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Kattegat, raised shoreline, ArcMap, sea level, Triangulated Irregular Network, spatial modeling, Holocene			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## Sisällysluettelo

1. Johdanto .....	3
2. Alueen kuvaus.....	4
2.1. Kallioperä .....	6
2.2. Deglasiaatio, isostasiala ja eustasia.....	6
2.3. Muut merenpinnan vaihteluun vaikuttavat tekijät .....	9
2.4. Avainalueet.....	10
3. Aineisto ja menetelmät.....	12
3.1. Kalibrointi.....	16
3.2. Mallinnettavien aikaikkunoiden valinta.....	17
3.3. Paikkatietoanalyysi .....	18
3.3.1. Aikaikkuna 11000 vuotta sitten .....	22
3.3.2. Aikaikkuna 4900 vuotta sitten .....	24
3.3.3. Aikaikkuna 7900 vuotta sitten .....	25
3.3.4. Karttaesitysten teko .....	29
4. Tulokset.....	29
5. Tulosten käsittely .....	34
5.1. Mallinnusmenetelmän valinta .....	34
5.2. Alueen kallistuminen.....	40
5.3. Eustaatit merenpinnan vaihtelut.....	41
5.4. Tanskan salmet ja yhteys Itämereen .....	42
5.5. Sedimentaatio ja eroosio Kattegatin alueella.....	44
5.6. Tektoniikan vaikutus .....	46
5.7. Käytännön merkitys .....	48
5.8. Virhelähteet .....	48
6. Johtopäätökset.....	53
7. Kiitokset.....	55
8. Lähteet .....	55
9. Liitteet .....	62

## 1.Johdanto

Työssä mallinnettiin Kattegatin alueen merenpinnan muutoksia ja altaan kallistumista viime jääkauden loppuvaiheista keskioholoseeniin noin 4000 vuotta sitten. Työ perustuu kirjallisuudesta kerättyyn pistemuotoiseen muinaisranta- ja järvien kuroutumistasoaineistoon. Spatiaalisessa mallinnuksessa rantapinta-aineiston ja apupisteiden avulla interpoloimalla selvitettiin merenpinnan tasoja ja kallistumista eri aikakausina Kattegatilla ja sen lähialueilla. Näiden avulla luotiin korkeusmalli alueesta eri aikakausina.

Alueen batymetriaan ovat vaikuttaneet monet tekijät, joista tärkeimpiä ovat olleet deglasiaation aikainen ja jälkeinen glasioisostaattinen maankohoaminen sekä mannerjäätiköiden sulamisesta seurannut globaali eustaattinen merenpinnan kohoaminen.

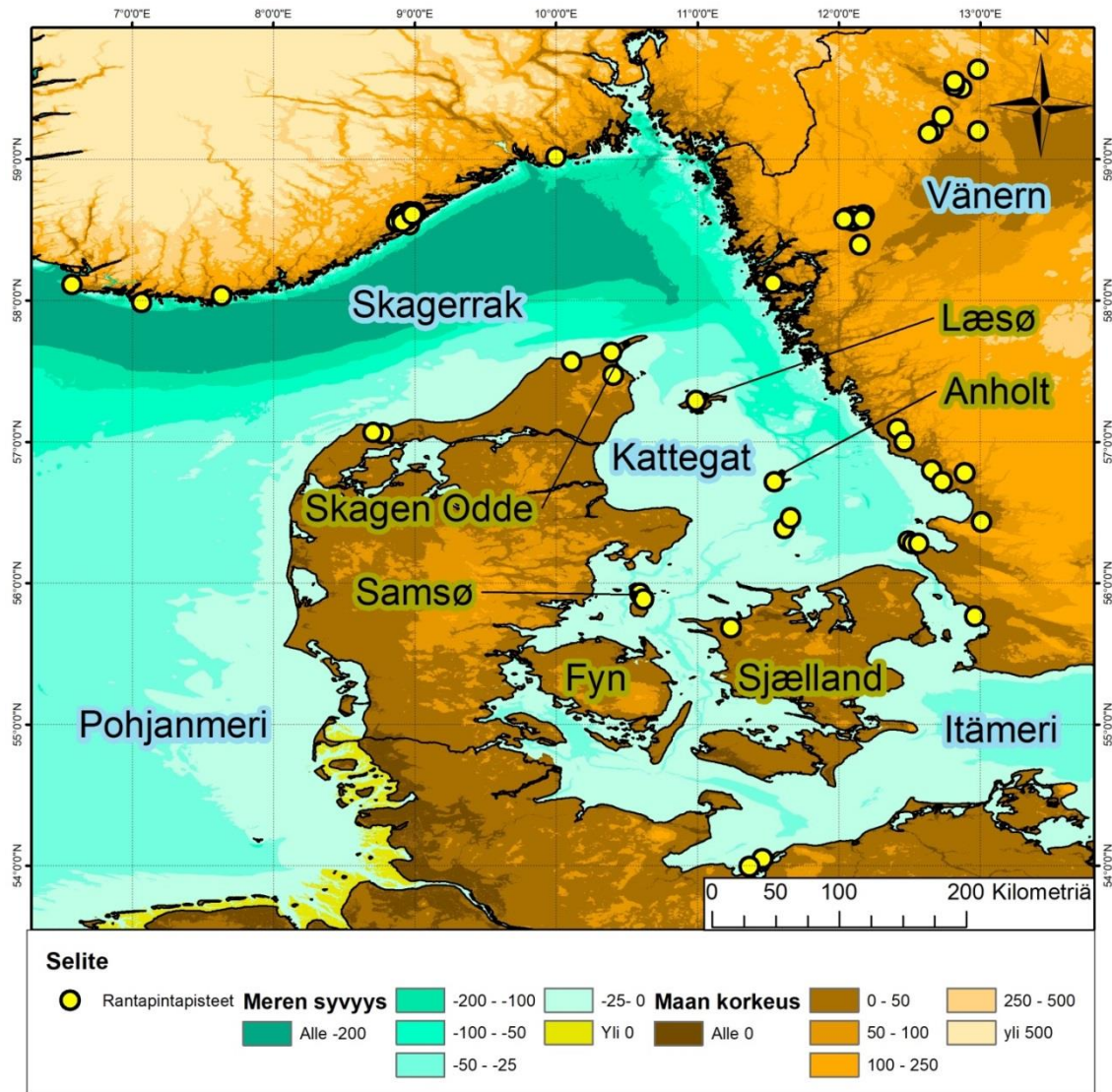
Itämeren viime jääkauden jälkeisissä merivaiheissa on Itämeren ainoa meriyhteys kulkenut joko Skagerrakin ja Keski-Ruotsin tai Kattegatin kautta. Tällöin merenpinnan muutoksilla ja altaan kallistumisella alueella on ollut vaikutus myös Itämereen sen eri vaiheissa. Yoldiameri-vaihe päättyi Keski-Ruotsin kohotessa eustaattista merenpinnan kohoamista nopeammin ja valtameriyhteyden sulkeuduttua, jolloin alkoi Itämeren Ancylusjärvivaihe. Ancylusjärvivaihe puolestaan päättyi Tanskan salmien muodostumiseen eustaattisen merenpinnan kohoamisen ja Kattegatin sekä Itämeren altaiden kallistumisen seurauksena. Ancylusjärven pinta laski merenpinnan tasoon noin 10000-10200 vuotta sitten (kalibroimaton: 9000  $^{14}\text{C}$ ; Jensen et al. 1999) ja ensimmäiset suolapulssit pääsivät Ancylusjärveen noin 10100 vuotta sitten (Andrén et al. 2000a, Andrén et al. 2000b). Noin 8800 vuotta sitten Juutinrauma jäi meren alle, jolloin merivettä pääsi virtaamaan Itämeren altaaseen, johtaen lopulta suolaisempaan Litorinamerivaiheeseen (Björk 1995).

Työssä on mallinnettu muutoksia Kattegatin ja sen lähiympäristön merenpinnassa ja altaan kallistumisessa, käyttäen hyväksi aiemmin julkaistuja aineistoja alueen rantapinnoista. Työn tarkoituksena oli mallintaa korkeusmallit eri aikakausilta ja tehdä niistä karttaesitykset. Näin pistemäisestä datasta saatiin tutkittavan alueen kattavat spatiaaliset batymetriset/topografiset mallinnukset.

Kaikki iät ovat kalibroituja radiohiili-ikiä BP (Before Present), ellei toisin mainita. Kalibroimattomat iät on ilmoitettu  $^{14}\text{C}$  vuosina BP.

## **2. Alueen kuvaus**

Kattegat on Pohjanmeren salmi Ruotsin ja Tanskan välissä (Kuva 1). Kattegat on syvyydeltään melko matala, syvimmilläänkin vain hieman yli 100 metriä. Sen pohjoispuolella sijaitsee Skagerrak Jyllannin, Etelä-Norjan ja Lounais-Ruotsin rannikoiden välillä. Skagerrak on Kattegatiin verrattuna huomattavasti syvempi ja sen syvin kohta on noin 700 metrin syvyydessä. Itämeren ainoa valtameriyhteys kulkee Tanskan salmien, Kattegatin ja Skagerrakin kautta. Kattegatin suurimmat saaret ovat Kattegatin ja Itämeren väliset Fyn ja Sjælland. Kokonaan Kattegatin alueella sijaitsevat mm. Anholt Keski-Kattegatilla, Læsø Pohjois-Kattegatilla ja Samsø Länsi-Kattegatilla.



Kuva 1. Kattegat lähiympäristöineen ja työssä käytetyt rantapintapisteet. Taustana on käytetty Emodnet Bathymetryn julkaisemaa syvyyskarttaa ([www.emodnet-bathymetry.eu](http://www.emodnet-bathymetry.eu)) ja merenpinnan yläpuolisissa osissa European Digital Elevation Model Eu-DEM versiota 1.1 ([Copernicus, land.copernicus.eu](http://Copernicus.land.copernicus.eu)).

## 2.1. Kallioperä

Prekambrisen kallioperän raja kulkee Skånen keskiosista Kattegatin koillisosiin. Tämän linjan koillispuolella kallioperä on prekambrista, ja se on muodostunut gneissistä ja graniitista. Lounaispuolella kallioperän ylin kerros on fanerotsooista sedimenttikiveä. Skånen keski- ja itäosista löytyy kapea alue paleotsooista kallioperää. Mesotsooisen kallioperän vyöhyke kattaa Pohjois-Tanskan, Luoteis-, Keski- ja Itä-Kattegatin, osia Keski-Skånesta ja suurimman osan Itämeren lounaisosista. Paleogeeninen kallioperä kattaa Tanskan salmien saaret ja Fynin eteläpuoliset osat Tanskan rannikosta, Kattegatin lounaisosat sekä Skånen luoteisosat. Tanskan keski- ja eteläosat ovat pääasiassa neogeenistä kallioperää (Gravesen et al. 2017).

Alueen kallioperässä on monia siirrosvyöhykkeitä, joista merkittävin on Kattegatin halki kaakosta luoteeseen kulkeva Tornquist-siirrosvyöhykkeeseen kuuluva Sorgenfrei-Tornquist-vyöhyke. Sorgenfrei-Tornquist-vyöhyke muodostui prekambriaudella ja on aktivoitunut sen jälkeen useita kertoja fanerotsooin aikana (Mogensen ja Korstgård 2003). Se aktivoitui myös Veiksel-jääkaudella (Brandes et al. 2018). Oslo-Skagerrak graben alkaa Skagerrakilta koilliseen Sorgenfrei-Tornquist-vyöhykkeestä ja jatkuu Etelä-Norjaan (Mogensen ja Korstgård 2003).

Siirroksien aiheuttamat muutokset täytyy huomioida merenpinnan muutoksia tutkiessa. Esimerkiksi Etelä-Kattegatin alueella, Anholtin eteläpuolella, maankohoaminen johti vanhojen kaakkois-luode suunnassa kulkevien siirrosryhmien uudelleen aktivoitumiseen (Jensen et al. 2002). Uudelleenaktivoituneet siirrokset johtivat sedimenttien vajoamiseen kymmenillä metreillä alkuperäisen kerrostumistason alapuolelle (Jensen et al. 2002).

## 2.2 Deglasiaatio, isostasial ja eustasia

Merenpinnan vaihteluilla on ollut dramaattisia vaikutuksia Kattegatin alueella. Jäätiköiden sulaessa alueelta Länsi- ja Lounais-Kattegat olivat kuivaa maata (Björk



1995). Anholtin eteläpuolelta on löytynyt 13000 vuotta vanhaa vaivaiskoivun *Betula Nana* kaarnaa 35 metrin syvyydestä (Jensen et al. 2002).

Alueen merenpinnan vaihtelut johtuvat pääasiassa deglasiaatiosta ja sen aiheuttamista muutoksista. Veiksel-jääkauden ollessa laajimmillaan noin 22000 vuotta sitten koko alue oli mannerjäätikön peitossa. Veiksel-jääkauden lopulla 18500 vuotta sitten jäätiköt laajenivat uudelleen lähelle maksimilaajuuttaan ja joillain alueilla myös uusille alueille (Humlum ja Houmark-Nielsen 1994). Mannerjäätikön vetäytyminen Kattegatin alueelta alkoi noin 18000 vuotta sitten (Hytinen et al. in press). Tanskassa sijaitsevat jäätiköt menettivät yhteyden Norjaan maiden välisen jäätikön sulaessa, ja 17000 vuotta sitten meri saavutti jo Ruotsin lounaisrannikon. Tästä alkoi jäätiköiden suhteellisen nopea sulaminen Kattegatin ympäristöstä (Humlum ja Houmark-Nielsen 1994) ja vanhemman dryaksen aikaan 14000 vuotta (12000  $^{14}\text{C}$  vuotta) sitten jäätikön reuna oli jo vetäytynyt Keski-Ruotsiin (Lundqvist 1995). Mannerjäätiköt olivat sulaneet Scandinavian alueelta noin 9000 vuotta sitten (Cuzzone et al. 2016).

Jäätikön massa aiheutti alueella isostaattisia muutoksia. Sen painon syrjäyttämä vaipan aines siirtyi jäätiköityneen alueen ulkopuolelle, jossa jäätiköityminen johti maankohoamiseen (Fjeldskaar 1994). Veiksel-kaudella Fennoskandian jäätikön ympärille muodostui pullistuma, joka kohotti maan pintaa enimmillään noin 60 metrillä alueella, joka alkoi noin 100 kilometrin päästä jäätikön maksimilaajuudesta (Fjeldskaar 1994). Jäätikön alkaessa sulaa sen syrjäyttämä aines alkoi virrata hitaasti takaisin (Ekman ja Mäkinen 1996). Tällöin maanpinta alkoi laskea alueen reunoilla ja vastaavasti kohota jäätiköityneellä alueella (Johnson 1994).

Mannerjäätikön keskustan paksuimpien jäämassojen ympäristö painuu keskimäärin syvemmälle kuin ohuemman jääpeitteen alle jääneet reunat (Fairchild 1918) ja jäätikön sulaessa maan kohoaminen on nopeampaa sen keskiosissa kuin reunoilla (Steffen ja Wu 2011). Sijainnin lisäksi myös aika vaikuttaa maan kohoamisnopeuteen. Maankohoaminen on nopeinta deglasiaation aikana, mutta hidastuu selvästi pian deglasiaation jälkeen (Steffen ja Wu 2011). Muun muassa Veiksel-jääkauden aikana maankohoaminen oli nopeimmillaan Pohjanlahden alueella nuoremman dryaksen loputtua, jolloin maa saattoi kohota 20–50 senttimetriä vuodessa (Mörner 1978).

Deglasiaatio vaikutti alueen merenpinnan muutoksiin myös eustaattisena merenpinnan nousuna. Nopeimmillaan globaali merenpinnan nousu oli 16500-7000 vuotta sitten (Lambeck et al. 2014) ja Kattegatin alueella varsinkin nuoremman dryaksen jälkeen (Bennike et al. 2000). Maankohoamisen hidastuttua suhteellisen merenpinnan kohoamisnopeus oli aluksi todella nopeaa ja vasta 7500 vuotta sitten nopeus laski alle senttimetriin vuodessa (Mörner 1976). Tätä ennen muun muassa Etelä-Kattegatilla merenpinta kohosi noin 20 metriä 1800 vuodessa 10900-9100 vuotta sitten (9600 - 8200  $^{14}\text{C}$  vuotta sitten; Christiansen et al. 1993). Kokonaisuudessaan globaalin merenpinnan taso on kohonnut viime jääkauden maksimivaiheen jälkeen noin 134 metriä (Lambeck et al. 2014). Nopeinta merenpinnan kohoaminen oli noin 14000-14500 vuotta sitten, jolloin merenpinta kohosi keskimäärin globaalisti noin 40 millimetriä vuodessa (Lambeck et al. 2014). Merenpinnan kohoaminen pysähtyi noin 4200 vuotta sitten ja alkoi kohota uudelleen vasta noin 100-150 vuotta sitten. Holoseenin lämpömaksimin jälkeen merenpinta laski joillakin alueilla, kuten Samsøssa, maankohoamista nopeammin viitaten mahdolliseen ilmaston viilenemisestä johtuvaan merenpinnan laskuun (Hede et al. 2015). Myös Skagen Oddelta on havaittu merkkejä eustaattisen merenpinnan nykyistä korkeammasta tasosta (Clemmensen et al. 2001). Merenpinnan laskusta ei kuitenkaan ole selviä merkkejä globaalissa mittakaavassa (Lambeck et al. 2014).

Keskiholoseenin aikaan globaalin merenpinnan kohoamisen hidastuminen johti monilla alueilla suhteellisen merenpinnan nousun pysähtymiseen ja myöhemmin sen laskuun. Anholtin saarella merenpinta saavutti maksimikorkeutensa noin 6650 vuotta sitten litorinatrangressioiden aikana (Bjørnsen et al. 2008). Litorinatrangressiot aiheuttivat voimakasta eroosiota Kattegatilla, muun muassa Læsøn saari muodostui uudelleen eroosion kulutettua alkuperäisen moreenisen saaren kokonaan, jättäen jäljelle vain lohkareita (Hansen et al. 2016). Myös Anholtin ja Samsøn saaret ovat kuluneet voimakkaasti, tosin Veikseli-jääkauden aikaiset muodostumat muodostavat edelleen saarien ytimet (Bjørnsen et al. 2008, Hede et al. 2015).

Yhdessä isostasia ja eustasia ovat olleet merkittävässä roolissa määrittämässä Kattegatin eri alueiden merenpinnan korkeutta. Kattegatin alue sijaitsee lähellä entisiä Veiksel-jäätikön reuna-alueita ja tämän vuoksi maankohoaminen alueella on jäätikön keskiosia huomattavasti hitaampaa, ja Ruotsin puoleisissa osissa merta maankohoaminen on ollut

nopeampaa kuin Tanskan puolella (Sharma 1984, Lidberg et al. 2007). Lisäksi maa kohoaa Ruotsin ja Jyllannin rannikoilla nopeammin pohjoisessa ja hitaammin etelässä (Lidberg et al. 2007). Heti deglasiaation jälkeen 14000–10000  $^{14}\text{C}$  vuotta sitten merenpinta saattoi kohota joillain jäätiköiden reuna-alueilla hieman isostaattista maankohoamista nopeammin (Berglund 1995, Schmitt 2013) ja joillain alueilla maankohoaminen lähes pysähtyi nuoremman dryaksen ajaksi (Björck ja Digerfeldt 1991, Romundset et al. 2018). Nuoremman dryaksen päättyessä maankohoaminen saavutti huippunsa Kattegatin koillisosissa (Björck ja Digerfeldt 1991) ja Skagerrakin alueella (Romundset et al. 2018). Kattegatin eteläosissa maankohoaminen on ollut vähäisempää ja suhteellinen merenpinnan nousu alkoi Anholtin eteläpuolella jo noin 11400 vuotta sitten (Jensen et al. 2002). Anholtilla suhteellinen merenpinta alkoi nousta noin 11000 vuotta sitten (Schröder 2015) ja Læsøn alueellakin noin 10000 vuotta sitten (Hansen et al. 2016). Nykyään maa ei enää juuri kohoaa alueen lounaisosissa ja nopeimmin kohoavissa koillisosissakin maa kohoaa vain noin millimetrin vuodessa (Sharma 1984).

Tanskan luoteisosissa maankohoaminen oli nopeampaa kuin merenpinnan kohoaminen noin 11000 vuotta sitten saakka, jolloin alueen merenpinta oli noin 30 metriä nykyisen alapuolella (Jensen et al. 2019). Tämän jälkeen merenpinta alkoi kohota suhteellisesti, ylittäen nykyisen merenpinnan tason noin 8400 vuotta sitten (Jensen et al. 2019). Kaakkois-Ruotsin Blekingessä merenpinta oli Yoldiamerivaiheessa, noin 10800 vuotta sitten noin, 20 metriä nykyisen merenpinnan alapuolella (Hansson et al. 2019). Ancyclusjärvivaiheen päätyttyä suhteellinen merenpinta oli alueella noin 4 metriä nykyisen alapuolella 9000 vuotta sitten, josta se kohosi holoseenin lämpömaksimin aikana noin 7000 vuotta sitten noin 8 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolelle (Hansson et al. 2019).

### **2.3. Muut merenpinnan vaihteluun vaikuttavat tekijät**

Eustasian ja isostasian lisäksi myös monet muut syyt ovat vaikuttaneet Kattegatin merenpinnan vaihteluihin. Esimerkiksi Læsøn saarella 3500–4500 vuotta vanhat rantapinnat ovat 2–3 metriä korkeammalla kuin niiden kuuluisi olla pelkän isostasian ja

eustasian perusteella (Hansen et al. 2012). Syitä tähän poikkeamaan on ollut todennäköisesti ainakin litorinatransgressioiden aiheuttama eroosio. Eroosio kulutti saareltä ja sen ympäristöstä arviolta 10-20 metrin kerroksen savea ja silttiä (Hansen et al. 2012, Hansen et al. 2016). Tämä kevensi maan kuorta alueella ja johti nopeampaan maan kohoamiseen kuin alueilla, joilla eroosiota ei ole ollut tai se on ollut vähäisempää (Hansen et al. 2016). Myös suhteellisen merenpinnan lasku alueella keskiholoseenin huipun jälkeen on keventänyt merialueiden painoa enemmän suhteessa rannikkoon ja ympäröivään maa-alueeseen ja on johtanut nopeampaan maan kohoamiseen merialueilla (Hansen et al. 2016).

## 2.4. Avainalueet

Kattegatin ympäristöllä on ollut merkittävä vaikutus Itämeren altaan kehitykseen. Itämeren meriyhteys katkesi Baltian jääjärvi- ja Ancylusjärvivaiheissa, ja yhteyden katkettua altaan pinta kohosi merenpinnan yläpuolelle (Björk 1995). Baltian jääjärven aikaan, noin 16000-11600 vuotta sitten (Björk 1995, Bendixen et al. 2017), nykyisten Tanskan salmien kohdalla kulki joki, josta Baltian jääjärven vesi purkaantui valtameriin (Bergsten ja Nordberg 1992). Yoldiamerivaiheen (11600-10700 vuotta sitten, Bendixen et al. 2017) alussa, Baltian jääjärven pinnan romahtaessa, tämä yhteys katkesi johtaen taukoon sedimentaatiossa Etelä-Kattegatilla (Bergsten ja Nordberg 1992). Ancylusjärvivaiheen aikana, 10700-9800 vuotta sitten (Björk 1995, Bendixen et al. 2017), järven vesi purkautui aluksi jokia pitkin Keski-Ruotsin kautta (Lambeck 1999). Ancylusjärven saavutettua korkeimman tasonsa, suur-järven vesi alkoi taas purkautua Tanskan salmien kautta (Lambeck 1999, Bendixen et al. 2017). Ancylusjärvivaiheen lopussa Itämeren ja Kattegatin välinen Dana-joki laajeni salmeksi johtaen Litorinamerivaiheeseen Itämerellä (Bendixen et al. 2017). Litorinamerivaiheen vähäsuolaista alkuvaihetta kutsutaan varsinkin rannikkoalueilla myös Mastogloiamereksi (Rößler 2011). Tämän jälkeen Kattegatiin on virrannut vähäsuolaista vettä Itämereltä ja suolaista vettä Skagerrakilta.

Vänernin alue oli yhteydessä valtameriin alkaen heti jäätiköiden sulamisen jälkeen (Lambeck 1999), Itämeren Yoldiamerivaiheen ajan ja mahdollisesti vielä

Ancylusjärvivaiheen ajan, Itämeren valtameriyhteyden katkettua (Lambeck 1999). Tosin valtameriyhteys saattoi katketa jo Ancylusjärvivaiheen alkaessa (Björk 1995). Vänernin alue kuroutui Skagerrakista eri arvioiden mukaan joko noin 9600-8500 vuotta sitten (8700-7700  $^{14}\text{C}$  vuotta sitten; Lambeck 1999) tai yoldiamerivaiheen päättyessä noin 10700 vuotta sitten (9500  $^{14}\text{C}$  vuotta sitten; Björk 1995).

Skagen-Odden kynnäs on Jyllannin pohjoisin kärki Skagerrakin ja Kattegatin välissä. Merivirrat ovat kuljettaneet rantasedimenttejä alueella Skagerrakilta itään kohti Kattegatia ja kerrostaneet osan Skagen-Oddeen (Nielsen ja Johannessen 2009). Se alkoi muodostua noin 7150 vuotta sitten (Nielsen ja Johannessen 2009). Skagen-Odden alueella maa kohosi vielä 5600 vuotta sitten noin 3 mm vuodessa, mutta maankohoaminen on sen jälkeen hidastunut alueella huomattavasti (Clemmensens et al. 2001). Alueen sedimentteihin on jäänyt rantaturvetta, josta merenpinnan muutokset on ollut mahdollista määrittää vuosisatojen tai jopa vuosikymmenten välein viimeisen 5600 vuoden aikana (Clemmensens et al. 2001).

Anholtin saari sijaitsee Kattegatin keskiosissa. Se muodostui alun perin jäätikköperäisestä aineksesta, mutta ne jäivät merenpinnan alle merenpinnan kohottua 7500 vuotta sitten saakka (Bjørnsen et al. 2008). Aallokko ja tuulet ovat kerrostaneet saaren sedimenttejä uudelleen varsinkin saaren itäosissa, mutta saaren länsiosassa on edelleen jäätikköperäisiä sedimenttejä (Clemmensens et al. 2012). Litorinatransgressioiden päätyttyä merenpinnan lasku ja maankohoaminen johtivat saaren paljastumiseen (Bjørnsen et al. 2008, Clemmensens et al. 2012). Noin 7700 vuotta sitten Anholtin vanhinmmat rantavallit alkoivat muodostua merenpinnan kohoamisen hidastuttua (Bjørnsen et al. 2008). Niiden muodostuminen jatkui suhteellisen merenpinnan käännyttyä laskuun ja ne peittivät saaren itäosan ja valtaosan saaren pinta-alasta (Clemmensens et al. 2012).

Læsø on saari Kattegatin pohjoisosissa. Saarella ei ole jäljellä jäätikköperäisiä sedimenttejä vaan koko saari muodostui uudelleen Litorinatransgressioissa (Hansen et al. 2016). Læsø jäi meren alle noin 6300 vuotta sitten ja ensimmäiset osat kohosivat merenpinnalle noin 4900 vuotta sitten (Hansen et al. 2016). Læsø:n ympäristön maankohoaminen on ollut poikkeuksellisen nopeaa ja rantamuodostumat ovat 2-3 metriä korkeammalla kuin niiden kuuluisi olla ilman tätä poikkeamaa (Hansen et al.

2012). Saaren alue on saattanut kohota poikkeuksellisesti osittain neotektonisista syistä, johtuen saaren läheisyydestä Sorgenfrei-Tornquist-vyöhykkeeseen (Hansen et al. 2012). Keski- ja myöhäisholoseenin aikana eroosio kulutti alueen sedimenttipeitettä voimakkaasti – noin 10 metrillä (Hansen et al. 2016). Vähentynyt massa saattoi kiihdyttää maankohoamista (Hansen et al. 2012). Læsø oli myöhäis-Veikselin aikaan syvällä meren alla ja myös meriveden massan keventyminen saattoi vaikuttaa alueen maankohoamista kiihdyttävänä tekijänä viimeisen 4900 vuoden aikana verrattuna Tanskan ja Ruotsin rannikkoalueisiin, joilla meren massa oli pienempi (Hansen et al. 2016). Toisaalta Gregersen ja Voss (2012, 2014) tulkitsivat saaren noudattavan ympäröiviin rannikoihin verrattuna normaalia tai korkeintaan hieman anomaalista maankohoamista, eivätkä pitäneet todistusaineistoa neotektoniikasta riittävänä.

Samsø on saari Kattegatin lounaisosissa. Saaren etelä- ja pohjoisosat omat moreenia, mutta saaren kapea keskiosa muodostuu rantavallisedimenteistä (Hede et al. 2015). Transgressio oli voimakkaimmillaan alueella noin 7600-7200 vuotta sitten, jolloin merenpinta kohosi noin 4,5 metriä (Sander et al. 2015). Samsøn etelä- ja pohjoisosat eivät peittyneet kokonaan, mutta niiden välinen osa oli meren alla rantavallien muodostumiseen saakka (Hede et al. 2015). Saari sijaitsee hitaan maankohoamisen alueella ja saaren rantamuodostumat ovat kohonneet vain muutamia metrejä niiden muodostumisen jälkeen (Hede et al. 2015). Noin 7000-3800 vuotta sitten Samsøn alueella merenpinta pysytteli muutaman metrin nykyisen merenpinnan yläpuolella ja laski sen jälkeen nopeasti (Hede et al. 2015, Sander et al. 2015).

### **3. Aineisto ja menetelmät**

Aineistona käytettiin rantapintatietoja muinaisrantoja ja järvien kuroutumistasoja käsittelevistä artikkeleista. Aineistoa kerättiin sekä geologisista että arkeologisista vertaisarvioituista artikkeleista ja lähdeartikkelien julkaisuaika vaihteli vuosien 1959 ja 2018 välillä. Yhteensä rantapintapisteitä on 81. Pisteitä on Kattegatilta (21 pistettä), Skagerrakilta ja Pohjois-Tanskasta (11 pistettä), Etelä-Norjasta (26 pistettä), Vänern järven läheisyydestä (18 pistettä) ja Itämeren lounaisosista (5 pistettä), lähinnä Koillis-Saksasta ja Tanskan salmista.

Itämereltä ja Vänerniltä täytyi varmistaa rantapisteiden vastaavan valtamerenpinnan korkeutta. Itämereltä aineistona käytettiin vain rantapintoja, jotka olivat muodostuneet Itämeren merivaiheiden aikana. Baltian jääjärven ja Ancylusjärven aikaisia rantapintoja ei käytetty, sillä järvien pinnat eivät olleet merenpinnan tasolla (Björk 1995). Myös Vänern-järven ympäristön pisteistä varmistettiin niiden muodostuneen merivaiheessa, jotka vallitsivat alueella ennen Yoldiamerivaiheen päättymistä (Björk 1995, Lambeck 1999). Vaikka Vänern saattoi olla edelleen meriyhteydessä myös Yoldiamerivaiheen jälkeen (Lambeck 1999), ei rantapintapisteitä tältä ajalta käytetty.

Rantapinta-aineisto on esitetty Kuvassa 1, Taulukossa 1 ja Liitteessä 1, sisältäen muodostuman koordinaatit ja koordinaattijärjestelmän, korkeuden nykymerenpinnasta, iän ja ajoitusmenetelmän sekä muuta tietoa kuten muodostuman tyyppin. Joistakin artikkeleista ei löytynyt suoria koordinaatteja muodostumille, mutta näissä tilanteissa koordinaatit arvioitiin artikkelien karttojen avulla. Valtaosa koordinaateista oli annettu WSG 84 koordinaattijärjestelmässä, mutta muutamat niistä olivat RT90 koordinaattijärjestelmässä. Muutamissa artikkeleissa ei mainittu rantapintojen korkeutta tarkasti ja niiden korkeus arvioitiin artikkelin kuvista tai viivadiagrammeista.

Taulukko 1. Rantapintapisteet Kattegatin ympäristössä. Taulukossa on esitetty pisteiden numerointi, pituusaste, leveysaste, korkeus, alkuperäinen ja lopullinen ikä ja lähde. Lihavoituja pisteitä käytetty on mallinnuksissa, ja kursivilla kirjoitetut pisteet RT90 ovat koordinaattijärjestelmässä. Tähdellä\* merkittyjä korkeuksia ei ole käytetty suoraan vaan korkeus arvioitiin rannansiirtymiskäyrästä.

Nro	Pituusaste	Leveysaste	Korkeus, metriä	Ikä artikkelissa	Käytetty ikä, BP	Lähde
1	11°32'01"E	58°07'11"N	60	11900 BP	11900	Schmitt 2013
2	11°32'01"E	58°07'11"N	55,75	11600-11500 BP	11600	Schmitt 2013
<b>3</b>	<b>11°32'01"E</b>	<b>58°07'11"N</b>	<b>47,5*</b>	<b>11100 BP</b>	<b>11100</b>	<b>Schmitt 2013</b>
4	11°32'35"E	56°42'57"N	9	6650 BP	6650	Bjørnsen et al. 2008
5	11°32'35"E	56°42'57"N	7,7	6300 +/- 400 BP	6300	Clemmensen et al. 2012
<b>6</b>	<b>11°32'35"E</b>	<b>56°42'57"N</b>	<b>6,9</b>	<b>5000 +/- 300 BP</b>	<b>5000</b>	<b>Clemmensen et al. 2012</b>
7	11°32'35"E	56°42'57"N	7,8	4300 +/- 170 BP	4300	Clemmensen et al. 2012
8	11°32'35"E	56°42'57"N	5,1	4100 +/- 200 BP	4100	Clemmensen et al. 2012
<b>9</b>	<b>6°34'29"E</b>	<b>58°06'38"N</b>	<b>1,475</b>	<b>8155-8005 BP</b>	<b>8080</b>	<b>Prøsch-Danielsen, 1997</b>
10	7°38' N	58°02' E	2	9410 +/- 220 BP	10000	Gabrielsen 1959.
11	7°38' N	58°02' E	2	8770 +/- 100 BP	9232	Gabrielsen 1959
12	7°04' N	57°59' E	0,5	7950 +/- 150 BP	8232	Nydal 1962
13	8°46'16" E	57°03'22" N	4,2	4630 +/- 128 BP	4620	Bowman et al. 1989
14	8°42'23" E	57°03'53" N	6,5	4696 +/- 111 BP	4698	Bowman et al. 1989
<b>15</b>	<b>10°35'35.5"E</b>	<b>55°55'44.4"N</b>	<b>3,29</b>	<b>5000 +/- 400 BP</b>	<b>5000</b>	<b>Hede et al. 2015</b>
16	10°35'35.5"E	55°55'44.4"N	3,45	4500 +/- 300 BP	4500	Hede et al. 2015
<b>17</b>	<b>10°37'10"E</b>	<b>55°53'11"N</b>	<b>-3,37</b>	<b>7830-7670 BP</b>	<b>7750</b>	<b>Sander et al. 2015</b>
18	11°36'53" E	56°23'14" N	-26,315	10670-10430 BP	10550	Bennike et al. 2000
<b>19</b>	<b>11°39'36" E</b>	<b>56°27'44" N</b>	<b>-33,46</b>	<b>11180-10760 BP</b>	<b>10970</b>	<b>Bennike et al. 2001</b>
20	12°29'30" E	56°17'48" N	87,7	Noin 16100 BP	16100	Sandgren & Snowball 2001
21	12°31'30" E	56°16'54" N	72,5	Noin 14800 BP	14800	Sandgren & Snowball 2001
22	12°33'48" E	56°16'50" N	47,5	Noin 13600 BP	13600	Sandgren & Snowball 2001
23	<i>13217.0 E</i>	<i>62985.8 N</i>	<i>56</i>	<i>"(&gt;)12.75? BP"</i>	<i>15187</i>	<i>Berglund 1995</i>
24	<i>12945.8 E</i>	<i>63343.8 N</i>	<i>21,7</i>	<i>10300 +/- 100 BP</i>	<i>12104</i>	<i>Berglund 1995</i>
<b>25</b>	<b><i>13076.8 E</i></b>	<b><i>63011.5 N</i></b>	<b><i>16,5*</i></b>	<b><i>10250 +/- 100 BP</i></b>	<b><i>11992</i></b>	<b><i>Berglund 1995</i></b>
26	<i>12969.2 E</i>	<i>63241.1 N</i>	<i>14,6</i>	<i>10250 +/- 100 BP</i>	<i>11992</i>	<i>Berglund 1995</i>
<b>27</b>	<b>10°59'30.8"E</b>	<b>57°17'28.0"N</b>	<b>10,55</b>	<b>noin 4900 BP</b>	<b>4900</b>	<b>Hansen et al. 2016</b>
28	10°23'26" E	57°37'53" N	14	5637 BP	5637	Clemmensen et al. 2001
<b>29</b>	<b>10°23'26" E</b>	<b>57°37'53" N</b>	<b>11,8</b>	<b>5004 BP</b>	<b>5004</b>	<b>Clemmensen et al. 2001</b>
30	10°23'26" E	57°37'53" N	9,4	4520 BP	4520	Clemmensen et al. 2001
31	10°23'26" E	57°37'53" N	6,9	4012 BP	4012	Clemmensen et al. 2001
32	12°10'22" E	58°36'10" N	135	Noin 11000 BP	12508	Björck ja Digerfeldt 1991
33	12°10'48" E	58°36'07" N	134,5	11100-11000 BP	12587	Björck ja Digerfeldt 1991
34	12°08'50" E	58°23'37" N	124,5	noin 10800 BP	12252	Björck ja Digerfeldt 1991
35	12°08'37" E	58°35'32" N	122	noin 10500 BP	11671	Björck ja Digerfeldt 1991
36	12°06'14" E	58°35'47" N	121	noin 10300 BP	11368	Björck ja Digerfeldt 1991
37	12°06'00" E	58°33'37" N	111,5	10200-10100 BP	11144	Björck ja Digerfeldt 1991
38	12°04'52" E	58°34'01" N	109,5	10200-10100 BP	11144	Björck ja Digerfeldt 1991
<b>39</b>	<b>12°02'54" E</b>	<b>58°34'51"N</b>	<b>98</b>	<b>Noin 10000 BP</b>	<b>10962</b>	<b>Björck ja Digerfeldt 1991</b>



Nro	Pituusaste	Leveysaste	Korkeus, metriä	Ikä artikkelissa	Käytetty ikä, BP	Lähde
40	12°02'08" E	58°34'21" N	88	9900-9700 BP	10728	Björck ja Digerfeldt 1991
41	12°10'08" E	58°34'30" N	78	9900-9700 BP	10728	Björck ja Digerfeldt 1991
42	12°40' E	59°12' N	156,5	9800 14C BP	11219	Risberg et al. 1996
43	12°59' E	59°38' N	159,1	9700-9650 14C BP	11138	Risberg et al. 1996
44	12°59' E	59°12' N	138,5	9755 +/- 115 14C BP	11144	Risberg et al. 1996
<b>45</b>	<b>12°44' E</b>	<b>59°18' N</b>	<b>139,8</b>	<b>9425-9600 14C BP</b>	<b>10848</b>	<b>Risberg et al. 1996</b>
46	12°52' E	59°30' N	132,3	9700-9125 14C BP	10697	Risberg et al. 1996
47	12°49' E	59°31' N	114,8	10075-9650 14C BP	11360	Risberg et al. 1996
48	12°38' E	59°11' N	95,8	9600-9550 14C BP	10935	Risberg et al. 1996
49	12°49' E	59°33' N	98	9600-9575 14C BP	10909	Risberg et al. 1996
50	13117.7 E	62918.9 N	53,3	13000 +/- 300 BP	15522	Berglund et al. 1994, tarkat iät Berglund 1995
51	13276.0 E	62595.5 N	14,7	11000 +/- 100 BP	12880	Berglund et al. 1994, tarkat iät Berglund 1995
52	11°14'05"E	55°41'N	-0,1	5060 BC	7010	Hede 2003
53	11°27'25.0"E	54°03'00"N	-7	Noin 5100 BC	7050	Lübke 2002
54	11°21'56"E	53°59'44"N	-3	4400-4100 BC	6200	Lübke 2002
<b>55</b>	<b>10°00'00"E</b>	<b>59°00'50"N</b>	<b>55</b>	<b>7730 +/- 880 BP</b>	<b>7730</b>	<b>Fuchs et al. 2012</b>
56	9°00'16.9"E	58°37'26.8"N	81	11515 +/- 255 BP	11515	Romundsen et al. 2018
57	8°53'37.7"E	58°35'40.2"N	78,6	11350 +/- 200 BP	11350	Romundsen et al. 2018
<b>58</b>	<b>8°55'18.8"E</b>	<b>58°35'45.2"N</b>	<b>68,2</b>	<b>11090-10600 BP</b>	<b>10845</b>	<b>Romundsen et al. 2018</b>
59	8°56'37.7"E	58°34'50.9"N	63,2	10890-10690 BP	10790	Romundsen et al. 2018
60	8°52'11.6"E	58°33'15.1"N	64	11000-10190 BP	10595	Romundsen et al. 2018
61	8°55'31.4"E	58°36'33.1"N	52,8	11 150-10 740 BP	10945	Romundsen et al. 2018
62	8°54'08.3"E	58°36'39.6"N	52	10 770-10 420 BP	10595	Romundsen et al. 2018
63	8°52'41.9"E	58°33'28.4"N	46,9	10 580-10 250 BP	10415	Romundsen et al. 2018
64	8°52'32.9"E	58°33'24.5"N	46,7	10 520-10 240 BP	10380	Romundsen et al. 2018
65	8°57'46.1"E	58°37'30.4"N	46	10 520-10 240 BP	10465	Romundsen et al. 2018
66	8°55'33.2"E	58°34'07.0"N	40,5	11 150-9510 BP	10330	Romundsen et al. 2018
67	8°57'29.5"E	58°32'09.2"N	37,6	10160 +/- 400 BP	10160	Romundsen et al. 2018
68	8°55'57.0"E	58°34'08.4"N	36,2	10 270-9940	10105	Romundsen et al. 2018
69	8°59'30.1"E	58°36'18.7"N	31,7	9740-9520	9630	Romundsen et al. 2018
70	8°54'36.7"E	58°34'29.6"N	28	9530-9310	9420	Romundsen et al. 2018
71	8°54'45.7"E	58°34'28.2"N	27,5	9550-8600	9075	Romundsen et al. 2018
<b>72</b>	<b>8°56'25.8"E</b>	<b>58°34'01.6"N</b>	<b>24,4*</b>	<b>7530-7460</b>	<b>7495</b>	<b>Romundsen et al. 2018</b>
73	8°56'15.0"E	58°33'42.8"N	24,3	7320-7170	7245	Romundsen et al. 2018
74	8°54'50.8"E	58°34'47.6"N	21,6	7200-7040	7120	Romundsen et al. 2018
75	8°54'43.6"E	58°33'11.9"N	18,5	6200-5980	6090	Romundsen et al. 2018
<b>76</b>	<b>8°58'54.5"E</b>	<b>58°36'21.6"N</b>	<b>11,5*</b>	<b>4170-3960</b>	<b>4065</b>	<b>Romundsen et al. 2018</b>
<b>77</b>	<b>12°57'47.9"E</b>	<b>55°45'50.7"N</b>	<b>1</b>	<b>noin 5200 BC</b>	<b>7975</b>	<b>Digerfeldt 1975</b>
<b>78</b>	<b>12°57'47.9"E</b>	<b>55°45'50.7"N</b>	<b>4*</b>	<b>noin 2700 BC</b>	<b>5377</b>	<b>Digerfeldt 1975</b>
79	12°57'47.9"E	55°45'50.7"N	1	noin 1700 BC	3980	Digerfeldt 1975
<b>80</b>	<b>10°06'37"E</b>	<b>57°33'57"N</b>	<b>8*</b>	<b>8160-8090</b>	<b>8125</b>	<b>Petersen 1991</b>
81	10°24'13"E	57°28'23"N	13	5300 BC	7250	Christensen ja Nielsen 2008

### 3.1. Kalibrointi

Varsinkin vanhemmissa artikkeleissa monet radiohiili-iat olivat kalibroimattomia ja ne täytyi kalibroida. Kaikkiin kalibrointeihin käytettiin CALIB-ohjelmistoa (versiot 7.0.4 ja 7.1, 8.2, Stuiver et al. 2019, 2020a, 2020b, <http://calib.org>). Pohjois-Vänernin sedimenttien kalibroinnissa käytettiin Intcal 13 menetelmää, sillä ne muodostuivat vähäsuolaisessa ympäristössä (Risberg et al. 1996), jossa virtaus kulki pääasiassa Itämeren altaan suunnasta valtamerelle päin. Intcal 13 menetelmää käytettiin kalibroinnissa myös, jos näytteiden allaskorjaus oli jo tehty. Kalibroinnissa käytettiin kalibroimattomana arvona joko artikkelissa suoraan annettua ikää tai ikähaitarin keskiarvoa. Lisäksi laskelmiin vaadittiin ikien virhemarginaali. Ikähaitareiden käyttö johti joissain pisteissä todennäköisesti liian kapeaan virhemarginaaliin. Näitä kalibrointeja käytettiin mallinuksissa (Taulukko 1), mutta ne kalibroitiin myös uudelleen virhemarginaalilla  $\pm 100$  (Liite 1). Nämä uudelleenkalibroinnit tehtiin CALIB-ohjelmiston versiolla 8.2 (Stuiver et al. 2020b <http://calib.org>) ja ne käyttivät uudenpaa Intcal20 menetelmää.

Marine13 menetelmää käytettiin kalibroimaan ikiä osterin kuorista, sekä sedimenteistä, jotka olivat kerrostuneet meriympäristössä. Menetelmää käytettiin myös Länsi-Vänernistä kuroutuneiden järvien ikien kalibroinnissa, sillä niiden mainittiin sisältävän merisedimenttejä (Björk ja Digerfeldt 1991). Intcal13 menetelmään vaadittavien muuttujien lisäksi Marine13 menetelmään vaadittiin allaskorjauksen (reservoir effect) poikkeamaa kuvaava delta R. Delta R:n laskemiseen käytettiin osoitteen Calib.orgin työkalua (Stuiver et al. 2019, 2020a), jolla valittiin sivuston tietokannasta noin kaksikymmentä lähintä mitattua allaskorjauksen arvoa ja laskettiin niiden avulla Microsoft Excelissä niiden painotettu keskiarvo. Painotetun keskiarvon lisäksi Marine13 kalibrointiin vaadittiin deltaR:n epävarmuuskerroin, jona käytettiin allaskorjauksen arvojen ja delta R:n poikkeamien keskiarvoa.

Lisäksi aineistossa on muutamia pisteitä, joiden ikä oli esitetty vain karkeana arviona ja jotka kalibroitiin calib.orgin avulla. Näiden pisteiden ikien yhteydessä ei oltu arvioitu virhemarginaalia ja kalibroinnissa käytettiin virhemarginaalina  $\pm 100$  vuotta, jotta saataisiin karkea arvio siitä, mitä kalibroitua ikää kalibroimattomat arviot vastaisivat.

Mikäli rantapiste oli ajoitettu kahdella menetelmällä, niiden keskiarvoa käytettiin ikänä ja erotusta virhemarginaalina.

### 3.2. Mallinnettavien aikaikkunoiden valinta

Aineistosta tehtiin rannansiirtymiskäyriä eri puolilta Kattegattia (Liite 2). Rannansiirtymiskäyrä tehtiin jokaisesta alueesta, esimerkiksi Etelä-Norja, Vänern ja Koilis-Skagerrak omaan kuvaajaansa, jossa oli x-akselina rantapintojen iät ja y-akselina niiden korkeus. Näiden avulla pyrittiin selvittämään merenpinnan muutoksia pisteiden välisinä aikoina varsinkin niiltä alueilta, joilta oli paljon pisteitä. Tarkoituksena oli löytää aikakausia, joilta olisi mahdollisimman monta käyttökelpoista merenkorkeus tietoa. Parhaat ajankohdat olivat 11000, 7900 ja 4900 vuotta sitten, jokaisesta löytyi 6 paikkaa, osa suoraan rantapintapisteinä ja loput arvioina niiden väliltä rannansiirtymiskuvaajista. Aikaikkunaa vastaava korkeus arvioitiin kahden sitä ajallisesti lähimmän saman alueen pisteen avulla, joista toinen oli aikaikkunaa nuorempi ja toinen matalampi. Aikaikkunan korkeus laskettiin jakamalla matalamman pisteen ja mallinnetun aikaikkunan ikäero kahden ajallisesti läheisimmän pisteen ikäerolla. Näin saadulla luvulla kerrottiin korkeuden ero ja tähän lisättiin matalamman pisteen korkeus. Esimerkiksi 4900 aikaikkunan Skånen pisteen (Kuva 8, piste 78) korkeutta varten jaettiin pisteen 79 (Taulukko 1) iän ja 4900 aikkunan ikäero (920 vuotta) pisteiden 79 ja 78 välisellä ikäerolla (1397 vuotta). Saadulla luvulla (noin 0,66) kerrottiin korkeuksien ero (3 metriä) ja saatu tulos lisättiin pisteen 79 korkeuteen (1 metri), jolloin lopullinen korkeus oli noin 2,98 metriä. Pisteelle 25 arvioitiin ikä rannansiirtymiskäyrästä laskemalla kulmakerroin pisteistä 23 ja 25. Tällöin niiden korkeuksien erotus 21,7 metriä jaettiin ikien 3195 vuotta erotuksella ja kerrottiin pisteen 25 iän ja 11000 vuotta sitten aikaikkunan iän erotuksella 992 vuotta. Saatu tulos noin 9,7 metriä pyöristettiin kymmeneksi metriksi epätarkkuuden takia.

Muut rantapinnoista arvioidut korkeudet olivat pisteelle 3 (45 metriä), pisteelle 25 (10 metriä), pisteelle 72 (25,2 metriä), pisteelle 76 (14,61 metriä) ja pisteelle 80 (9,3 metriä).

### 3.3. Paikkatietoanalyysi

Paikkatietoanalyysissä käytettiin Esrin ArcMap-ohjelmistoa. ArcMapissa käytettyihin Excel-taulukon versioihin laitettiin pisteiden numero, kalibroitu ikä, x- ja y-koordinaatit sekä korkeus joko suoraan rantapintapisteestä tai rannansiirtymiskäyrästä arvioituna. Koordinaatit muutettiin ArcMap-ohjelmaa varten aste-minuutti-sekunti muodosta asteen desimaaleiksi, tähän käytettiin FCC:n sivuilta löytyvää (FCC 2016, <https://www.fcc.gov/media/radio/dms-decimal>) muunninta. Tämän jälkeen Excel-taulukot vietiin ArcMappiin, jossa niistä tehtiin erilliset pistemuotoiset karttatasot. RT90 koordinaattijärjestelmässä oleva piste 25 (Kuva 6) piirtyi ensin väärään paikkaan, mutta muuttamalla sen koordinaattijärjestelmä tavallisesta RT90 muodosta muotoon RT90\_25\_gon\_V, piste piirtyi oikealle paikalleen.

Karttapohjana käytettiin EU-DEM v1.1 -korkeusmallia (Copernicus 2016, [www.copernicus.eu](http://www.copernicus.eu)) Etelä-Skandinaviasta (julkaistu vuonna 2016, kuvaa 2011 vuoden tilannetta). EU-DEM-korkeusmallin resoluution on noin 25 metriä ja korkeuden virhemarginaali on noin  $\pm 7$  metriä. Tähän korkeusmalliin yhdistettiin Emodnet Bathymetryn julkaisema ([www.emodnet-bathymetry.eu](http://www.emodnet-bathymetry.eu)) merensyvyystaso. Tämä syvyyttä kuvaava taso oli koottu yhdistämällä useat eri merensyvyysaineistot lähinnä kaikuluotausaineistosta. Korkeusmallin ja merensyvyyden yhdistys tehtiin ArcMapin Mosaic-työkalulla. Yhdistettyyn korkeustasoon jäi rannikoille, varsinkin saarten ympärille, yhdistyksen jälkeen hyvin kapeita No Data-alueita. Nämä alueet täytettiin yhdistämällä aineistoon erillinen rasteri, jonka arvo oli 0 koko alueella. Mosaic-työkalu asetettiin priorisoimaan korkeustasoa ja käyttämään 0 rasterin arvoja vain alueilta, joilta korkeustason arvot puuttuivat.

Rantapintapisteiden välinen osio interpoloitiin TIN-menetelmällä (Triangulated Irregular Network). TIN-menetelmä tekee pisteiden välisille alueille kolmioita, joiden kukin kärki on piste. Tämän jälkeen toiminto laskee pisteiden korkeuksien avulla niiden välisten kolmioiden korkeudet. TIN-interpolointi soveltuu tasojen luontiin pistedatasta, varsinkin suorista tai loivasti kaartuvista isobaaseista (Mann et al. 1999, Leverington et al. 2002), ja menetelmää on käytetty muinaisten merenpinnan tasojen mallintamiseen

(mm. Ojala et al. 2013, A. Åberg 2013, S. Åberg 2013). Menetelmä ei huomioi muita lähialueen pisteitä vaan pelkästään kolmion kärkinä olevat pisteet (Habib et al. 2020).

Ongelmana on muun muassa liian kaarevien isobaasien muotojen mallintaminen, jolloin menetelmä saattaa valita kolmion kaikiksi kärjiksi saman isobaasin samalla korkeudella olevat pisteet. Tällöin interpoloinnin tuloksena syntyy kolmioita, joiden koko alueella korkeus on virheellisesti sama kuin isobaasilla. Näin tapahtuu, koska toiminto valitsee kolmion kaikiksi kärjiksi saman apupistekäyrän pisteet, jotka ovat kaikki samalla korkeudella. Nämä virheelliset kolmiot voidaan kuitenkin korjata sijoittamalla uusia apupisteitä. Lisättyjen apupisteiden korkeutta varten selvitetään TIN-tason virheettömästä osasta korkeus alueelta, jolla on uutta apupistettä vastaava etäisyys isobaasiin ja annetaan saatu korkeus uudelle apupisteelle. Kaikista TIN-tasoista tarkistettiin, ettei niissä ollut tasaisia kolmioita, joiden kaikki kärkipisteet olivat saman isobaasin apupistekäyrällä, ja löytyneet tasaiset alueet korjattiin ylimääräisillä apupisteillä.

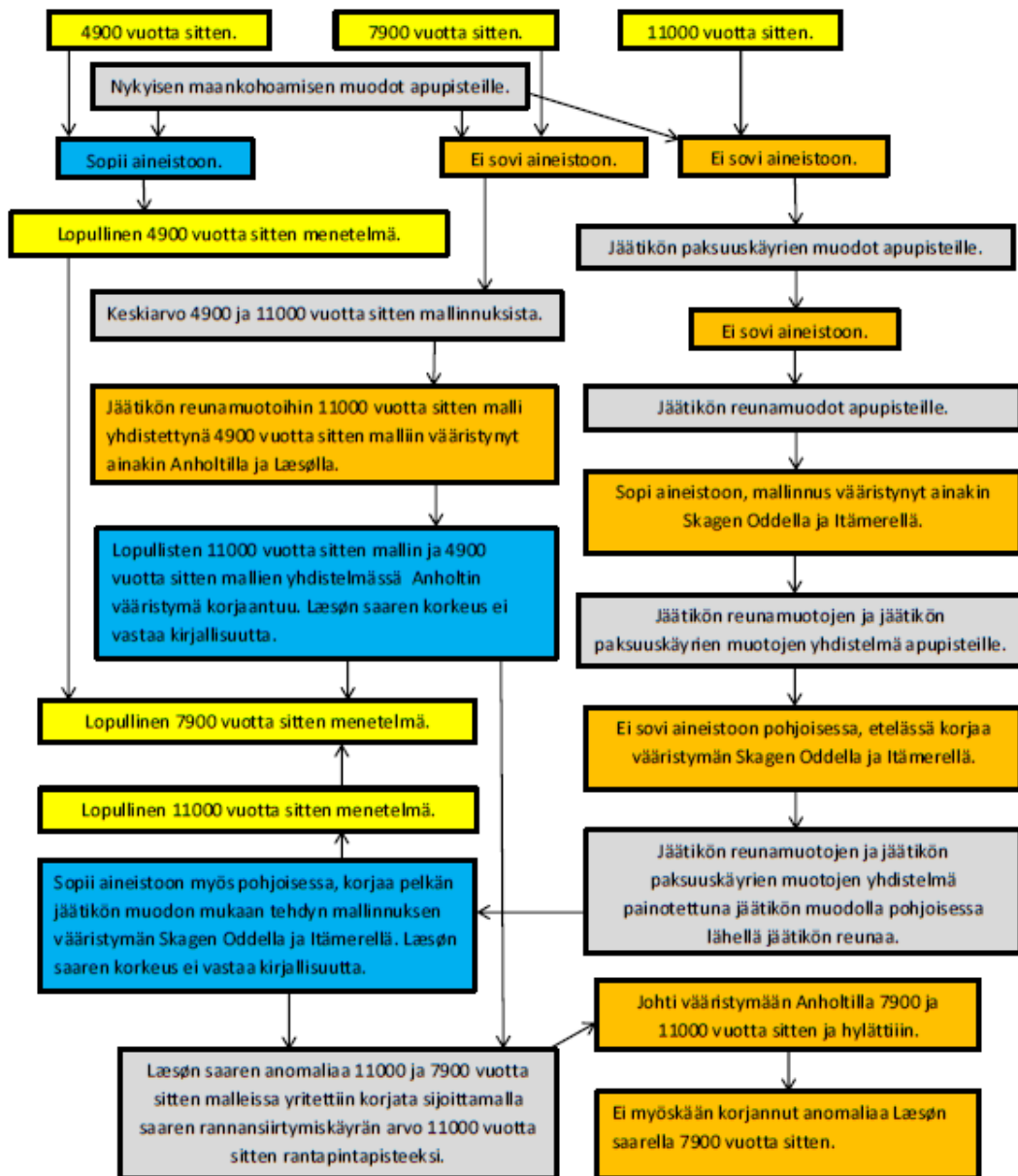
Pelkistä rantapintapisteistä tehty mallinnus olisi ollut hyvin suppea. TIN-tasojen laajentamiseksi pisteiden ulkopuolisille alueille Kattegatille ja sen lähiympäristöön lisättiin apupisteitä. Apupisteiden avulla rantapintojen isobaaseja jatkettiin koko tutkimusalueelle apupistekäyrinä, joiden muotoja hallittiin eri mallinnusmenetelmien mukaan (Kuva 2). Apupisteiden sijoittelussa apuna käytettiin muun muassa arviota maan kohoamisesta alueella (Joud et al. 2017), sekä Dated-1 mallinnukseen (Hughes et al. 2016) perustuvia jäätikön reunamuotoaineistoja (Hughes et al. 2015, doi.pangaea.de).

Työssä on kehitetty mallinnusmenetelmää apupistekäyrien avulla. Apupisteiden sijoitteluun ei ollut saatavilla valmista menetelmää, joka olisi huomionut monimutkaisen geologisen kehityshistorian. Apupisteiden mallinnusmenetelmän valintaa on kuvattu Kuvan 2 miellekartassa.

Kaikkien TIN-tasojen kattavuutta laajennettiin lounaaseen Kattegatin altaan kallistusta kuvaavan kuvaajan (Schröder 2015) perusteella. Schröderin (2015) kuvaajassa on kuvattu kallistus 11000 ja 6000 vuotta sitten. 4900 ja 7900 vuotta sitten tasojen

kallistus arvioitiin 6000 vuotta sitten kallistuksesta pisteiden avulla. Esimerkiksi 4900 vuotta sitten Samsøn saarella meren pinta oli yli 3 metrin korkeudessa ja vastaava kohta 6000 vuotta sitten oli noin nykyisen merenpinnan tasossa. Tällöin kuvaajaan lisättiin saaren alueelle 3 metriä 4900 vuotta sitten aikaikkunassa ja kallistuksen arvioitiin olleen hieman loivempi kuin 6000 vuotta sitten. Lisäksi Luoteis-Saksasta tehdyn rannansiirtymiskäyrän (Bungenstock ja Schäfer 2009) avulla arvioitiin 4900 vuotta sitten apupisteiden korkeus mallinnetun alueen lounaisosassa noin neljä metriä nykyisen merenpinnan alle. 11000-vuotta sitten TIN-taso ulottui lähelle jäätikön laajuutta 11000 vuotta sitten ja TIN-tason laajuutta jatkettiin jäätikön reunaan asti. Tämä tehtiin arvioimalla poikkileikkauksesta TIN-tason kaltevuus ylimmän rantapinnan tasolla ja jatkamalla samalla kaltevuudella jäätikön reunaan saakka. Poikkileikkauksen perusteella ylimmän rantapintapisteen etäisyys jäätiköstä oli noin puolet ylimmän rantapintapisteen ja 100 metrin isobaasin etäisyydestä. Koska ylimmän rantapintapisteen korkeus oli noin 140 metriä (139,8 metriä), saatiin karkeaksi arvioksi jäätikön reuna-alueen maankohoamisesta 11000 vuoden aikana 160 metriä.

Kaikkiin karttaesityksiin lisättiin hahmottamista helpottamaan valtioiden rajat ja nykyiset rantamuodot. Tähän käytettiin GADM-sivuston (GADM 2018, [https://gadm.org/download\\_country\\_v3.html](https://gadm.org/download_country_v3.html).) valtioiden muototiedostoja. Niistä jätettiin vain reunat näkyviin ja tehtiin muuten läpinäkyviä.



Kuva 2. Miellekartta lopullisten mallinnusmenetelmien valintaan johtaneista työvaiheista. Harmaat palkit kuvaavat menetelmiä, sininen palkki kuvaa hyväksyntää ja oranssi hylkäystä.

### 3.3.1 Aikaikkuna 11000 vuotta sitten

11000 vuotta sitten aikaikkunan (Kuva 6) rantapintapisteet sijaitsivat Etelä-Norjassa (1 piste), Ruotsin länsirannikolla (2 pistettä), Vänernillä (2 pistettä) ja Anholtin eteläpuolella Kattegatilla nykyisen merenpinnan alapuolella (1 piste). Niiden korkeuksia vastaavia apupistekäyriä käytettiin mallinnuksessa apuna. Apupistekäyrien sijoittelussa käytetyn menetelmän valinta on kuvattu myös miellekartassa (Kuva 2).

Jäätikön maksimilaajuuden paksuuskäyrän muodoista tehtiin apupistekäyrät Steffen ja Kaufmannin (2005) mukaan. Jokainen niistä vastasi rantapintapistettä ja apupistekäyrien korkeuksiksi valittiin rantapintapisteiden korkeudet. Näiden apupistekäyrien ja rantapintojen korkeuksien avulla interpoloitiin TIN-taso. Pelkän jäätikön paksuuskäyrien mukaan tehtyä mallinnusta testattiin, mutta se hylättiin vääristymien takia. Näitä apupistekäyriä käytettiin kuitenkin myös yhdistelmänä muiden muuttujien kanssa ja ne olivat osana lopullista mallia.

Myös jäätikön reunamuodoista tehtiin apupistekäyrät. Tätä varten tarvittiin välivaihe, jossa TIN-menetelmän avulla tehtiin karkea arvio jäätikön reunamuodoista, jotka kulkivat rantapintapisteiden kautta. Dated-1 mallinnukseen perustuvia (Hughes et al. 2016) perustuvia, Pangaea-sivustolta (Hughes et al. 2015, doi.pangaea.de) ladattuja 16000 ja 11000 vuotta sitten reunamuotoja mukailevien apupisteiden avulla tehtiin TIN-taso, jossa interpolointi ”korkeutena” käytettiin näiden reunamuodostumien ikä. Tällöin esimerkiksi jäätikön 11000 vuotta sitten laajuutta vastaavien apupisteiden korkeusarvoksi valittiin niiden ikä eli 11000. Jäätikön 16000 vuotta sitten laajuuden ulkopuolisen pisteen apupistekäyrän muoto arvioitiin 16000 sitten laajuuden avulla. Apupistekäyristä tehtiin TIN-taso, jonka ”korkeusarvona” oli ikä, joka kuvasti jäätikön vetäytymistä alueelta. TIN-tasossa selvitettiin korkeuden eli tässä tapauksessa iän arvo jokaiselle 11000 vuotta aikaikkunan rantapintapisteelle. Saadut arvot valittiin TIN-tason eri värien raja-arvoiksi ja näitä värien vaihtumiskohtia käytettiin varsinaisten jäätikön reunamuotojen apupistekäyrien tekoon. Apupistekäyrät kuvastavat karkeaa arviota siitä, minä ajanjaksona jäätikkö vetäytyi eri alueilta. Mallinnuksessa ei voitu käyttää suoraa jäätikön todellisia reunoja ajanjaksoilta, jolloin jäätikön reuna oli pisteiden kohdalla, sillä jäätikön paikalliset uudelleenlaajenemiset olisivat vääristäneet mallinnusta.



Lopputuloksena saatiin uudet apupistekäyrät, jotka kulkivat rantapintapisteiden kautta, ja joiden arvoiksi valittiin rantapintojen korkeus. Näitä uusia apupistekäyriä käytettiin myöhemmissä versioissa yhdessä muiden muuttujien kanssa.

Jäätikön maksimilaajuuden reunamuotoja (Hughes et al. 2015, doi.pangaea.de) testattiin menetelmässä. Tällöin myös ne lisättiin TIN-tasoon ja niiden korkeusarvoksi valittiin niiden ikä eli 22000. Muuten apupistekäyrien sijoittelu noudatti aiemmin kuvattua. Näitä apupistekäyriä käytettiin pelkkien jäätikön reunamuotojen mukaan tehdyssä mallinnuksessa, joka kuitenkin hylättiin lopulta vääristymien takia. Jäätikön maksimilaajuuden reuna teki Tanskan alueella mutkan, joka johti liian matalaan merenpinnan tasoon Skagen Oddella ja tämän menetelmän mukaiset apupistekäyrät johtivat myös liian korkeaan tasoon karttaesitysten ulkopuolella Itämerellä (Liite 3).

Seuraavaksi tehtiin yhdistelmä jäätikön paksuuskäyrien muodoista ja reunamuodoista. Tätä varten toinen TIN-taso laitettiin läpinäkyväksi toisen päälle. Tämän jälkeen molemmista valittiin rantapintojen korkeuksien arvot kahden värin raja-arvoksi. Näin saatiin samanaikaisesti näkyviin molempien menetelmien rantapintoja vastaavien isobaasien muodot, jolloin niiden keskiarvomuodot saatiin tehtyä laittamalla vielä yhdet apupisteet näiden käyrien puoliväliin. Koska molemmissa versioissa apupistekäyrät kulkivat rantapintapisteiden kautta, myös niiden keskiarvot kulkivat apupisteiden kautta. Näiden uusien apupistekäyrien korkeuksiksi valittiin rantapintapisteiden korkeudet. Näitä apupistekäyriä käytettiin jäätikön reunamuotojen jäätikön paksuuskäyrien mukaan tehdyssä mallinnuksessa. Tämä korjasi vääristymän Skagen Oddella ja johti parempaan tulokseen Itämerellä, mutta mallinnettavan alueen pohjoisosassa se ei sopinut aineistoon.

Lopuksi saadut apupistekäyrät laitettiin seuraamaan jäätikön reunaa pohjoisessa, mutta etelässä muotoon ei koskettu. Tähän päädyttiin sillä pelkkien jäätikön reunamuotojen ja jäätikön paksuuskäyrien yhdistelmä johti vääristymään alueen pohjoisosassa. Etelä-Norjassa olevan pisteen apupistekäyrä kulki menetelmässä kahden sitä matalamman apupistekäyrän välistä. Oletuksena on, että maankohoaminen noudatti mannerjäätikön reunan alueella enemmän jäätikön muotoja kuin etelämmässä Kattogatilla. Tätä varten jäätikön reunamuotojen ja jäätikön paksuuskäyrien yhdistelmän apupistekäyrät laitettiin

noudattamaan yhä enemmän jäätikön reunoja, mitä pohjoisemmassa ne olivat. Kahden eteläisimmän rantapintapisteen apupistekäyrät noudattivat pelkästään jäätikön reunamuotojen ja paksuuskäyrien yhdistelmää. Kuten aiemmin kuvattiin, jäätikön reunalle piirrettiin myös apupistekäyrä, jonka korkeudeksi valittiin 160 metriä. Schrøderin (2015) kuvaajan perusteella mallinnettavaa aluetta laajennettiin lounaaseen. Alueen apupistekäyrien muodot laitettiin noudattamaan eteläisimpien rantapintapisteiden muotoja. Näistä apupistekäyristä ja rantapintapisteistä tehtiin lopullinen TIN-taso, jota käytettiin mallinnuksessa (Kuva 3).

Lopullisessa versiossa Læsøn saaren alueella havaittiin poikkeama. Merenpinta saaren alueella oli mallissa noin 6-22 metriä nykyisen alapuolella, vaikka Hansen et al. (2016) rannansiirtymiskäyrässä alueen merenpinta oli 11000 vuotta sitten noin nykyisessä tasossa. Tämän vuoksi lopullisesta mallinnuksesta tehtiin vielä yksi versio, jossa 0 metrin isobaasin apupistekäyrä sijoitettiin Læsøn saaren kohdalle. Tämä versio johti kuitenkin vääristymään Anholtin saarella, joka vastasi lopullisessa korjaamattomassa versiossa melko hyvin Schrøderin (2015) rannansiirtymiskäyrää alueesta. Koska Læsøn saaren ympäristön tiedetään olevan anomaalinen (Hansen et al. 2012, Hansen et al. 2016), toisin kuin Anholtin, hylättiin tämä Læsøn apupistekäyrä lopullisesta mallinnuksesta.

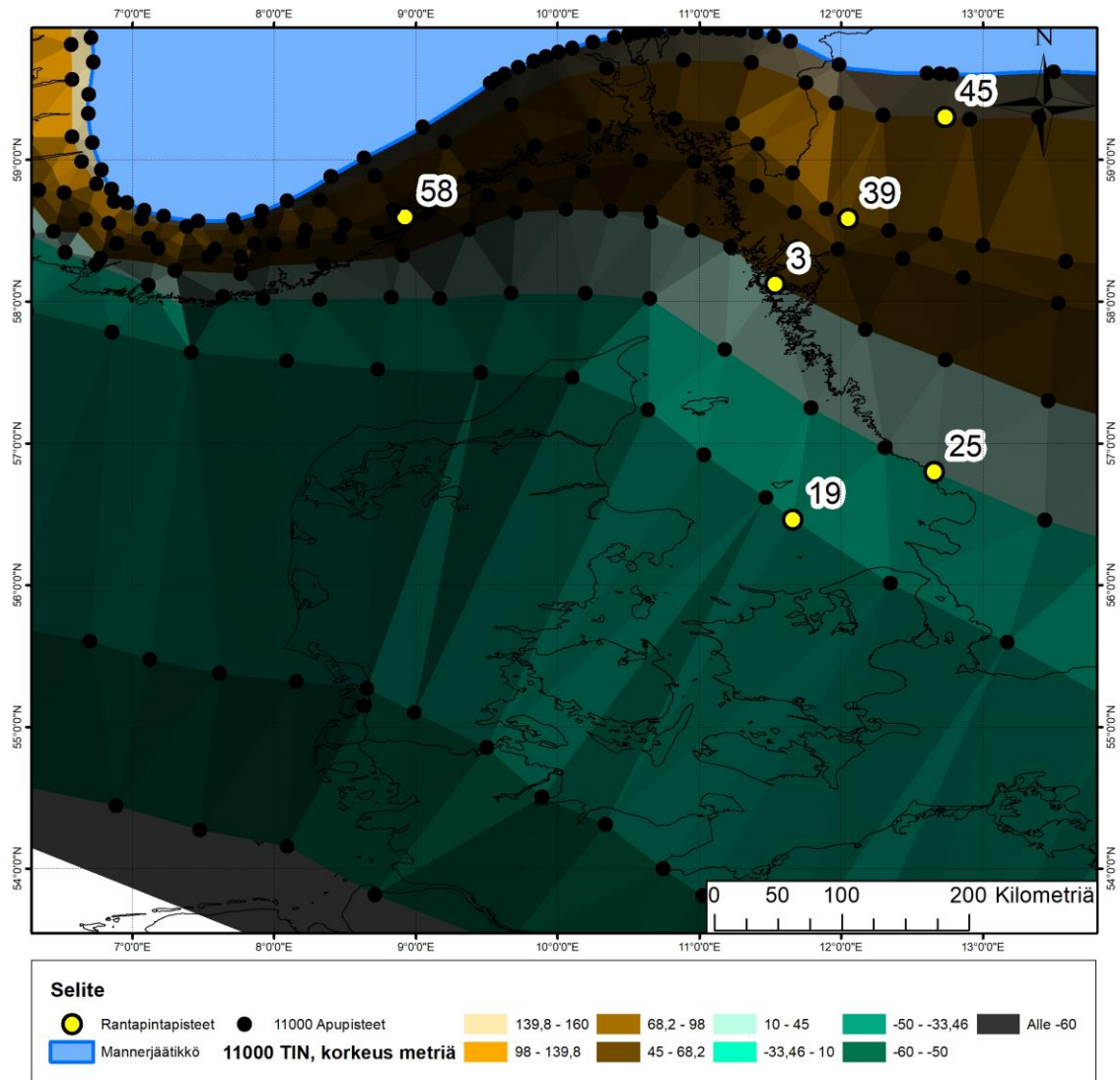
### *3.3.2. Aikaikkuna 4900 vuotta sitten*

4900 vuotta sitten aikaikkunan (Kuva 8) rantapintapisteen sijaitsivat Kattegatin saarilla (3 pistettä), Ruotsin lounaisrannikolla (1 piste), Etelä-Norjassa (1 piste) ja Pohjois-Jyllannissa (1 piste). 4900-vuotta sitten aikaikkunassa isobaasien muotojen arvioitiin noudattaneen pääasiassa nykyisiä maankohoamiskäyriä. Sama oletus tehtiin aluksi myös muista aikaikkunoista (Kuva 2), mutta näissä se ei sopinut rantapinta-aineistoon. 4900 vuotta sitten aikaikkunassa Skånen rannikon ja Samsøn pisteet (Kuva 8, pisteet 15 ja 78) olivat molemmat noin kolmen metrin korkeudessa ja nykyisten maankohoamiskäyrien mukaan piirretyt apupisteet sopivat tähän aineistoon erittäin hyvin. Myös Skagen Odden ja Læsøn saaren korkeudet olivat lähellä toisiaan ja ne olivat myös niiden maankohomiskäyrät olivat lähellä toisiaan. Apupistekäyrien muodot arvioitiin Joud et al. (2017) artikkelista ja niiden ja rantapintojen avulla tehtiin TIN-taso

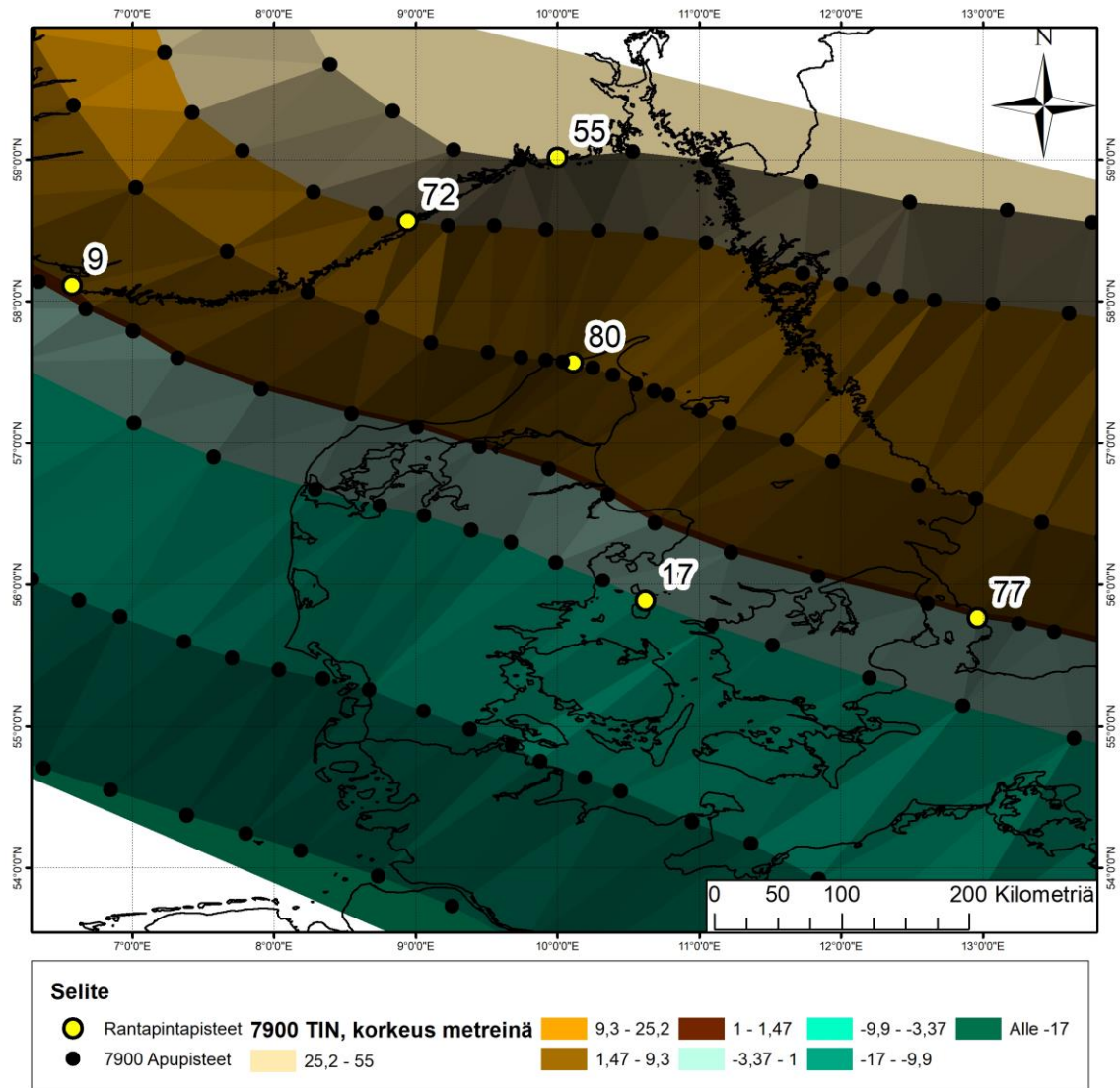
(Kuva 5). Joud et al. (2017) mallinnuksista maankohoamisen apupistekäyrien muodoksi valittiin CSR RL05 filttterillä DDK4. Valintaan päädyttiin, sillä Joud et al. (2017) mukaan CSR menetelmä täsmäsi parhaiten verrokkipisteisiin ja DDK4 filtteri antoi parhaat tulokset jäätikön keskiosia lukuun ottamatta. Mallia laajennettiin lounaaseen Schrøderin (2015) kuvaajan avulla, sekä Bungenstock ja Schäferin (2009) rannansiirtymiskäyrien avulla. Näistä saatiin apupistekäyrien korkeudet ja niiden muoto mukaili nykyisen maankohoamisen muotoja.

### *3.3.3. Aikaikkuna 7900 vuotta sitten*

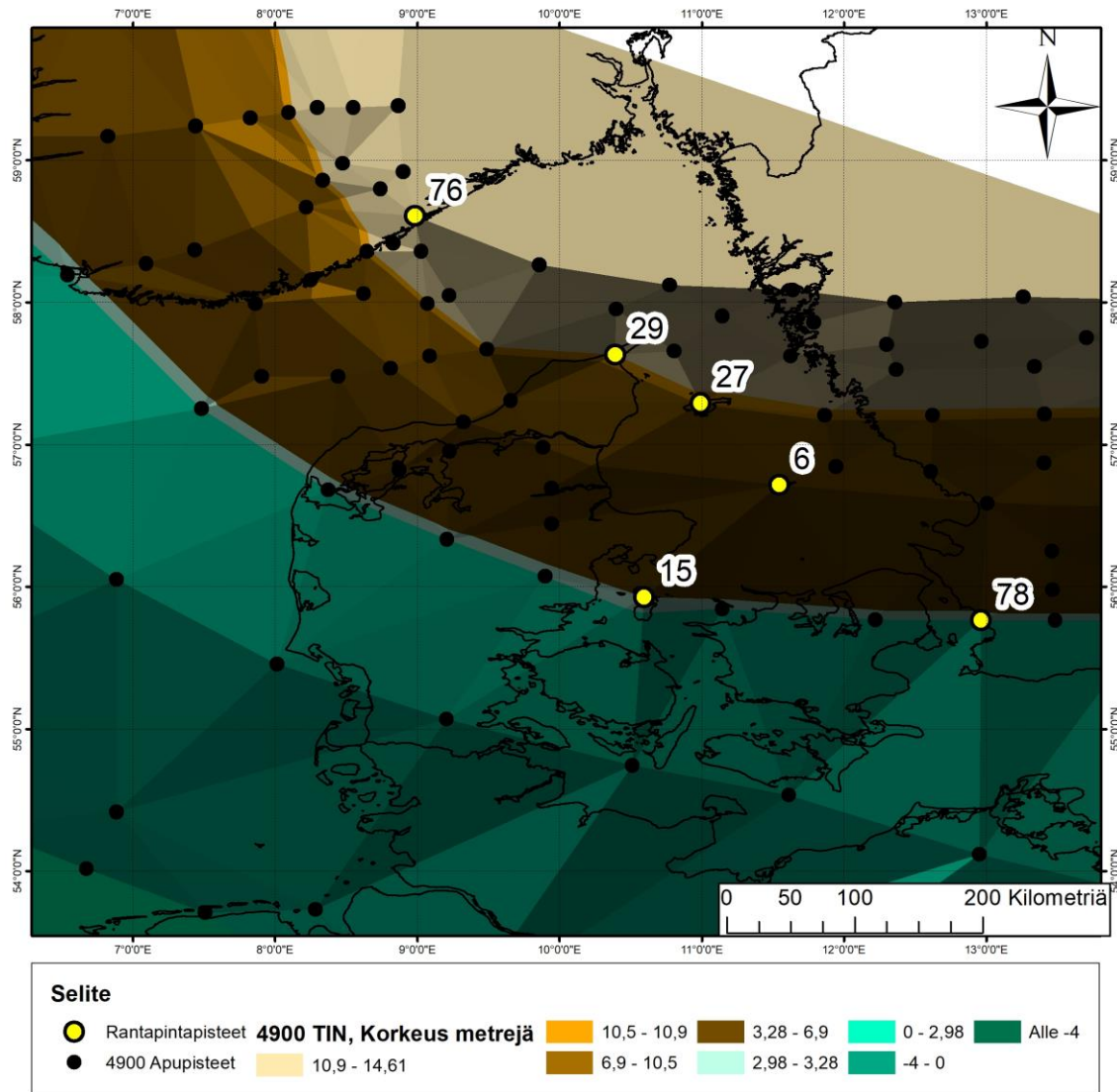
7900 vuotta sitten aikaikkunan (Kuva 7) rantapintapisteet sijaitsivat Etelä-Norjassa (3 pistettä), Pohjois-Jyllannilla (1 piste), Ruotsin lounaisrannikolla (1 piste) ja Samsøn saarella Kattegatilla (1piste). 7900-vuotta vanhojen apupisteiden muotojen arvioitiin olleen 11000- ja 4900-vuotta vanhojen pisteiden välimaastossa. Tällöin 11000 vuotta sitten aikaikkunan maankohoamisen muodot olisivat muuttuneet kohti 4900 aikaikkunan muotoja, mutta eivät täysin. Isobaasien muotojen keskiarvoa varten selvitettiin jokaisen 7900-vuotta vanhan rantapisteiden sijaintia vastaavat korkeuksien arvot 4900- ja 11000-vuotta vanhojen pisteiden TIN-tasoista. Tämän jälkeen visualisoitiin näiden korkeuksien isobaasit samanaikaisesti ja piirrettiin apupisteet 7900-vuotta sitten tasolle niiden puoliväliin. Näin piirretyt apupistekäyrien muodot olivat keskiarvo rantapintapisteiden kautta kulkeineista isobaaseista 11000- ja 4900-vuotta sitten ja kulkivat rantapintapisteiden kautta. Apupistekäyrien korkeuksiksi laitettiin niitä vastaavan rantapintapisteiden korkeus 7900 vuotta sitten. Apupisteistä ja rantapintapisteistä tehtiin lopullinen 7900 vuotta sitten aikaikkunan TIN-taso (Kuva 4). Myös muista 11000 vuotta sitten aikaikkunan mallintamiseen käytettyjen menetelmien apupisteistä (Kuva 2) koetettiin tehdä samalla menetelmällä yhdistämällä ne 4900 aikaikkunan apupisteiden kanssa, mutta lopullisen 11000 vuotta sitten aikaikkunan mallinnuksen avulla tehty 7900 vuotta sitten aikaikkuna vastasi parhaiten kirjallisuutta. Myös 7900 vuotta sitten mallinnusta jatkettiin lounaaseen Schrøderin (2015) kuvaajan avulla.



Kuva 3. Lopullisessa 11000 vuotta sitten aikaikkunan mallinnuksessa käytetyt rantapintapisteet, apupisteet ja niistä interpoloitu TIN-taso. TIN-tason korkeus vastaa mallinnuksessa merenpinnan tasoa aikaikkunassa. Myös mannerjäätikkö on merkitty.



Kuva 4. Lopullisessa 7900 vuotta sitten aikaikkunan mallinnuksessa käytetyt rantapintapisteet, apupisteet ja niistä interpoloitu TIN-taso. TIN-tason korkeus vastaa mallinnuksessa merenpinnan tasoa aikaikkunassa.



Kuva 5. Lopullisessa 4900 vuotta sitten aikaikkunan mallinnuksessa käytetyt rantapintapisteet, apupisteet ja niistä interpoloitu TIN-taso. TIN-tason korkeus vastaa mallinnuksessa merenpinnan tasoa aikaikkunassa.

### 3.3.4. Karttaesitysten teko

Valmiit TIN-tasot muutettiin rasterimuotoon TIN to Raster -toiminnolla. Uloimpien apupistekäyrien ulkopuolelle muodostui virheelliset alueet. Korkeimpien apupisteiden arvojen muodostaman käyrän sisälle muodostui tasainen alue, jonka arvo vastasi korkeimpia apupisteitä. Samoin kävi paikoin myös matalimpien apupisteiden arvojen kanssa. Nämä tasaiset virheelliset alueet poistettiin Reclassify- ja Set Null-toiminnoilla. Tämän jälkeen jäljellä olivat rasterimuotoiset esitykset alueen merenpintojen korkeuksista eri aikakausina. Näistä tasoista vähennettiin nykyisen maan- ja merenpinnan korkeudet Raster Mathin Minus-toiminnolla. Näin muodostui negatiiviset alueet merenpinnan korkeuksista eri aikoina ja lopuksi ne korjattiin kertomalla ne Raster Mathin Times-toiminnossa miinus yhdellä.

Negaatioiden käyttöön välivaiheena päädyttiin, sillä näin muodostunut lopullinen karttataso vastasi suoraan mallinnettua aluetta. Vaihtoehtona olisi ollut vähentää laajemmasta nykyisen maan ja merenpinnan korkeustasosta alueellisesti pienempi mallinnetun merenpinnan korkeusrasteri. Tällöin mallinnettu alue olisi ollut mallintamattoman korkeusmallin ympäröimä ja karttaesityksistä olisi tullut sekavampia.

## 4. Tulokset

Kalibroinnin tulokset on esitetty Taulukossa 1 ja Liitteessä 1. Vänernin alueelta hylättiin kaikki rantapintapisteet, joiden ikä oli alle 10700 vuotta. Piste 46, jonka ikä oli 10697 vuotta, hyväksyttiin rajatapauksena.

Kuvien 3, 4 ja 5 TIN-tasojen korkeudet vastaavat merenpinnan korkeutta eri aikakausina verrattuna nykyhetkeen. 11000 vuotta sitten (Kuva 3) merenpinta vaihteli mallinnettavalla alueella 160 ja -60 metrin välillä, 7900 vuotta sitten (Kuva 4) merenpinta vaihteli mallinnettavalla alueella 55 ja -17 metrin välillä ja 4900 vuotta sitten (Kuva 5) merenpinta vaihteli mallinnettavalla alueella 14,61 ja -4 metrin välillä.

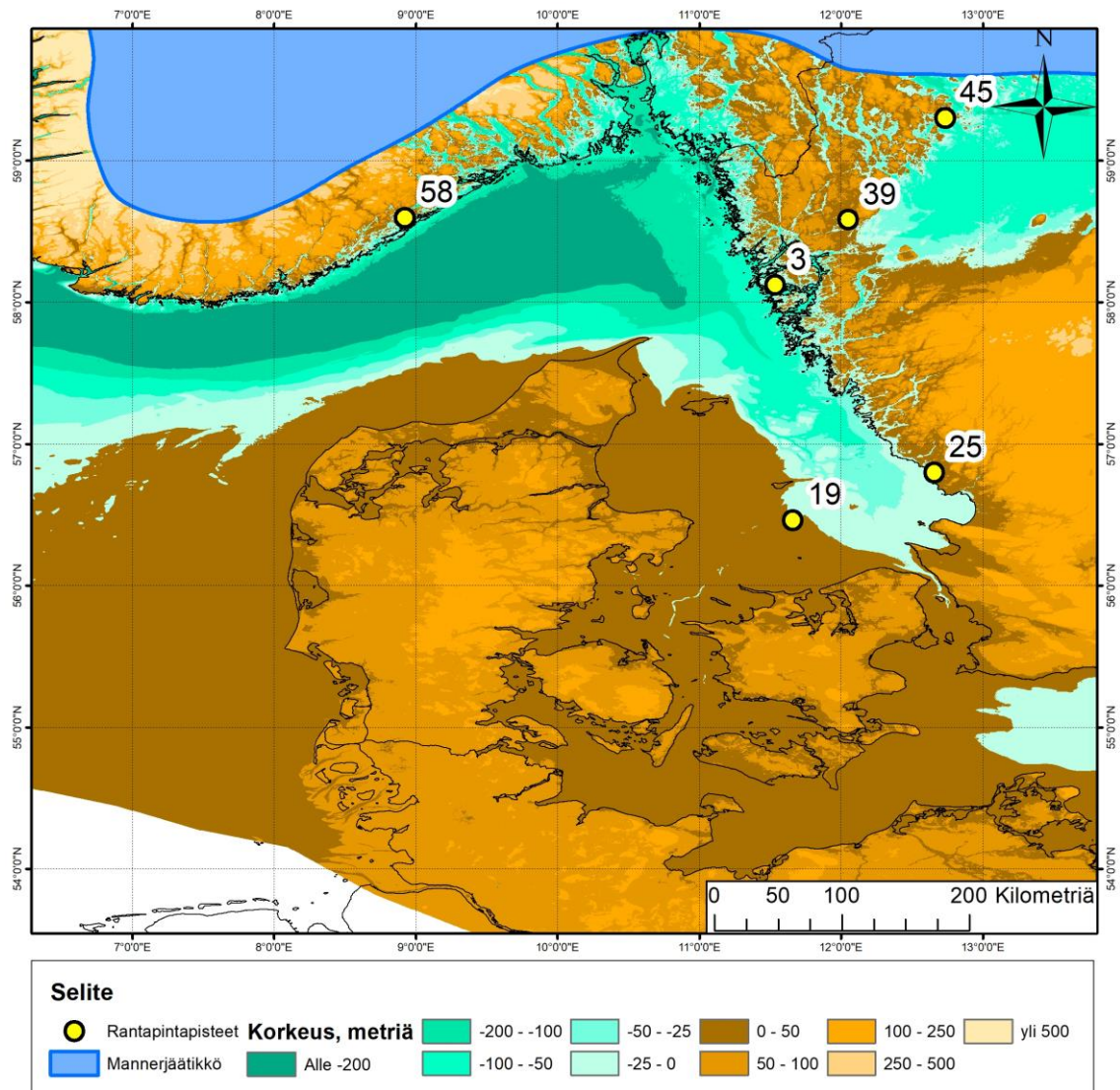
11000 vuotta sitten jäätikön reuna kulki mallinnettavan alueen pohjoisosissa. Kattegatin ympäristö oli nykyiseen verrattuna kallistunut voimakkaasti koilliseen (Kuvat 3 ja 6) ja valtaosa Kattegatista oli vielä kuivaa maata. Suhteellinen merenpinta oli Tanskan

eteläosissa ja Saksan koillisrannikolla noin 50 metriä nykyistä alempana ja Luoteis-Saksassa noin 60 metriä nykyistä alempana. Vain Kattegatin syvimvät osat olivat jo tuolloin meren alla, muun muassa Anholtin eteläpuolella (piste 19) merenpinta oli 33 metriä nykyistä matalammalla, tosin Kattegatin meren peittämän osan itäpuolella (piste 25) rantapinta oli 10 metriä nykyistä korkeammalla. Skagerrakin koillisosissa meri peitti laajoja alueita nykyisistä Norjan ja Ruotsin rannikoista esimerkiksi Oslovuonon suulla merenpinta oli noin 100 metriä nykyisen yläpuolella. Vänern oli yhteydessä valtameriin. Merenpinta oli Vänernin pohjoisosissa (piste 45) melkein 140 metriä nykyisen yläpuolella ja länsiosissakin noin 100 metriä nykyistä korkeammalla. Tanskan ja Etelä-Ruotsin välillä oli laaja maayhteys. Myös Tanskan saarien ja Jyllannin niemimaan välillä oli maayhteys.

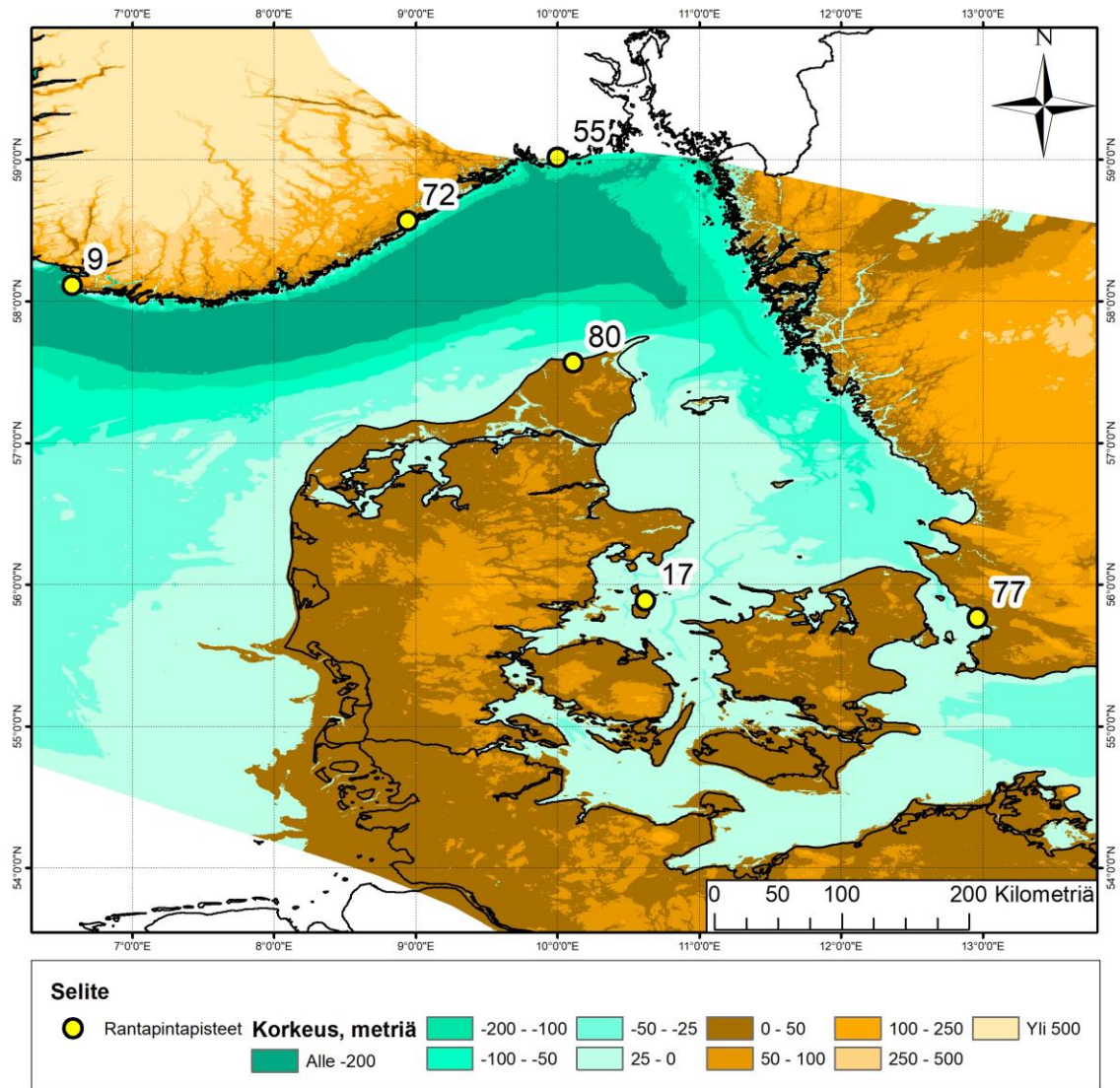
7900 vuotta sitten (Kuvat 4 ja 7) Kattegatin allas oli kallistunut huomattavasti verrattuna tilanteeseen 11000 vuotta sitten. Valtaosa Kattegatista oli jäänyt merenpinnan alle ja Tanskan salmet olivat auenneet. Ruotsin ja Norjan rannikot kohosivat Skagerrakilla merenpintaa nopeammin 11000-7900 vuotta sitten ja Skagerrakin koillisosissa (piste 55) merenpinta oli noin 50 metriä nykyisen yläpuolella. Skånen ja Norjan lounaisosien rannikkoalueilla (pisteet 77 ja 9) merenpinta oli vain hieman nykyistä korkeammalla. Itämeren lounaisosat sekä Tanskan lounaisosissa suhteellinen merenpinta oli nykyistä matalammalla. Samsøn saarella (piste 17) merenpinta oli noin 3 metriä nykyisen alapuolella ja Saksan rannikolla Vattimeren alueella merenpinta oli jo noin 17 metriä nykyistä alempana.

4900 vuotta sitten (Kuvat 5 ja 8) Kattegatin allas oli kallistunut lisää. Tuolloin suhteellinen merenpinta oli koko Kattegatilla nykyistä korkeammalla. Eniten nykyisiä maa-alueita oli meren alla Pohjois-Tanskassa. Suhteellinen merenpinta Skagerrakin keskiosissa (piste 76) oli noin 15 metriä nykyistä korkeammalla ja Samsøn saarellakin (piste 15) noin 3 metriä korkeammalla. Tanskan lounaisosissa ja Saksan luoteisosissa merenpinta oli nykyistä matalampana, mallin karttatason rajalla noin 4 metriä nykyisen merenpinnan alapuolella. Lisäksi merenpinta oli hieman nykyisen alapuolella myös Itämerellä nykyisten Kielin ja Lyybekin kaupunkien lähellä. Tanskan salmien alueella merenpinnan korkeus oli noin nykyisessä tasossa Vähä-Beltin eteläosissa ja noin 4 metriä nykyistä korkeammalla Juutinrauman pohjoisosissa.

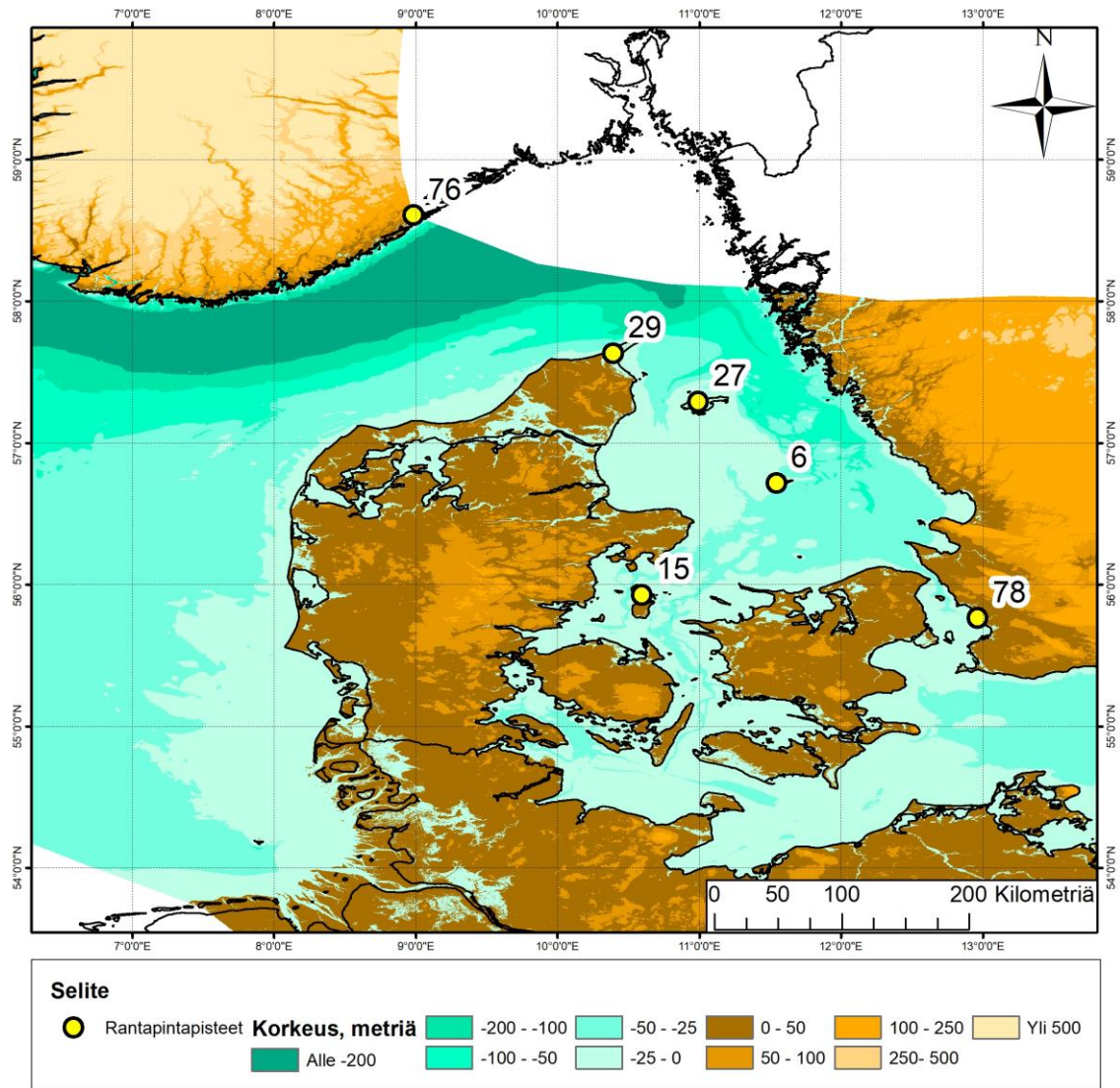




Kuva 6. Kattegatin ympäristön topografia 11000 vuotta sitten. Keltaiset pisteet ovat rantapintapisteitä, numeroitu Taulukon 1 mukaan. Valkoiset alueet ovat mallinnuksen ulkopuolella. Jäätikön laajuus Dated-1 mallinnuksen mukaan (Hughes et al. 2015, doi.pangaia.de).



Kuva 7. Kattegatin ympäristön topografia 7900 vuotta sitten. Keltaiset pisteet ovat rantapintapisteitä, numeroitu Taulukon 1 mukaan. Valkoiset alueet ovat mallinnuksen ulkopuolella.



Kuva 8. Kattegatin ympäristön topografia 4900 vuotta sitten. Keltaiset pisteet ovat rantapintapisteitä, numeroitu Taulukon 1 mukaan. Valkoiset alueet ovat mallinnuksen ulkopuolella.



## 5. Tulosten käsittely

### 5.1. Mallinnusmenetelmän valinta

Apupisteiden sijoittelumenetelmän valinnalla oli suuri vaikutus lopulliseen mallinnukseen. Tämä johtui pisteiden vähäisestä määrästä suhteutettuna alueen laajuuteen. Monia erilaisia menetelmiä testattiin (Kuva 2), alkaen nykyisten maankohoamiskäyrien (Joud et al. 2017) mukaan piirretyistä apupistekäyristä isobaaseille. Tämä menetelmä sopi hyvin yhteen 4900 vuotta sitten aineiston kanssa. Joud et al. (2017) maankohoamismuotojen mukaisesti Skånen ja Samsøn rantapintapisteet olivat lähes samassa korkeudessa, kuten myös Læsøn ja Skagen Odden rantapintapisteet. Tämän perusteella apupisteiden sijoittelumenetelmä hyväksyttiin lopulliseen 4900 vuotta sitten mallinnukseen (Kuva 8). 7900 ja 11000 vuotta sitten mallinnuksi nykyisen maankohoamisen muodot eivät sopineet (Kuva 2).

7900 vuotta sitten aikaikkunan arveltiin olevan 11000 vuotta sitten aikaikkunan ja 4900 vuotta sitten aikaikkunan välimaastossa. Tämän arvion perusteella menetelmäkehitys keskitettiin 11000 vuotta sitten aikaikkunaan.

Pelkkään jäätikön paksuuteen perustuva mallinnus ei sopinut aineistoon, vaan johti 11000 vuotta sitten aikaikkunassa Etelä-Norjan rantapintapisteen (Kuva 6, piste 58) isobaasin apupistekäyrän kulkuun Ruotsissa olleiden matalampien rantapintapisteiden (Kuva 6, pisteet 3 ja 25) isobaasien apupistekäyrien välistä.

Seuraavaksi yritettiin sijoitella isobaasien apupisteet jäätikön muotojen perusteella. Jäätikön reunamuotojen perusteella 11000, 16000 ja 22000 vuotta sitten interpoloitiin niiden välisten alueiden iät, joiden avulla luotiin rantapintapisteiden kautta kulkevat samanarvokäyrät, jotka tulkittiin suuntaa-antaviksi jäätikön muodoiksi. Näitä muotoja käytettiin rantapintojen isobaasien mallinnukseen, mutta niistä luovuttiin Skagen Odden ja varsinaisen mallinnettavan alueen ulkopuolisen Itämeren altaan vääristymien takia. 22000 vuotta vanhan jäätikön reunan käytöstä luovuttiin, sillä sen vaikutuksen arvioitiin olevan vähäisempi kuin mihin menetelmä johti. Tämän sijaan Kattegatin laguunin (Kuva 6, piste 19) isobaasin apupistekäyrä laitettiin noudattamaan 16000 vuotta sitten reunamuotoa, jonka lähellä tai sisällä muut rantapintapisteet olivat. Tämäkään ei korjannut virhettä.

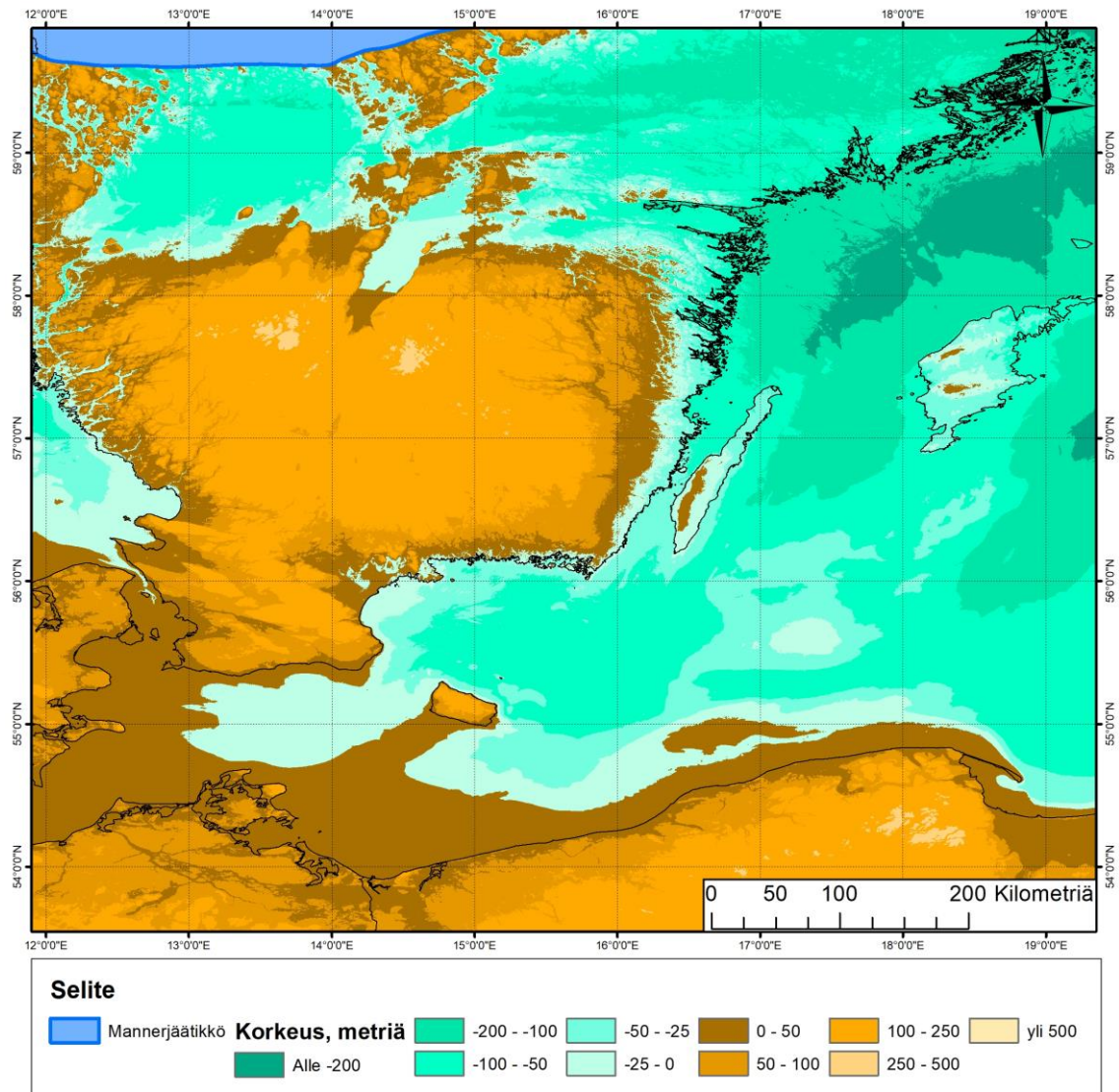
Testatessa jäätikön reunamuotojen ja paksuuden yhdistelmää havaittiin, että ne yhdistämällä Skagen Odden alueen ja Itämeren altaan vääristymät korjaantuivat. Tämä menetelmä johti kuitenkin samaan ongelmaan pohjoisimpien rantapintapisteiden kanssa kuin pelkkään paksuuteen perustuva mallinnus ja Etelä-Norjan rantapintapisteiden (Kuva 6, piste 58) isobaasin apupistekäyrä kulki jälleen Ruotsissa olleiden matalampien pisteiden (Kuva 6, pisteet 3 ja 25) apupistekäyrien välistä. Tämän korjaamiseksi tehtiin oletus, että alueen pohjoisosassa, jäätikön reunan läheisyydessä, isobaasien muodot noudattavat korostetusti jäätikön muotoja. Tämän oletuksen mukaisesti jäätikön reunaa lähestyttäessä isobaasien apupistekäyrien muodot laitettiin seuraamaan jäätikön reunaa sitä enemmän mitä lähempänä ne mannerjäätikön reunaa olivat. Jäätikön reunan korkeutta käytettiin myös isobaasina, jolle arvioitiin korkeus 160 metriä. Eteläisimpiin pisteisiin jäätikön reunalla ei tulkittu olleen vaikutusta. Tätä lopullista menetelmää käytettiin 11000 aikaikkunan mallinnukseen (Kuva 6).

Tämä menetelmä johti parhaaseen tulokseen Skagen Odden lisäksi myös Anholtin saarella, jonka alueella merenpinnan korkeus mallinnuksessa vastasi Schrøderin (2015) rannansiirtymiskäyrää alueesta. Læsøn saaren alueella mallinnus antoi kuitenkin vääristyneitä tuloksia. Merenpinnan korkeus oli Hansen et al. (2016) rannansiirtymiskäyrään verrattuna noin 6 metriä matalampi saaren lounaisosissa ja 22 metriä matalampi saaren koillisosissa. Myös Læsøn saarella poikkeama oli vähäisempi kuin pelkkiin jäätikön muotoihin perustuvassa menetelmässä, jonka perusteella saaren merenpinta oli noin 32 metriä nykyistä matalammalla. Anholtin saaren merenpinnan korkeus oli molempiin menetelmiin perustuvissa mallinnuksissa lähes sama, noin 27 metriä nykyisen merenpinnan alapuolella. Tämä vastasi hyvin Schrøderin (2015) rannansiirtymiskäyrää alueelta, jonka mukaan merenpinta saarella oli noin 27,5 metriä nykyisen alapuolella.

Lopullisen mallinnusmenetelmän mukaisesti Itämeren puolelle jatkettut apupistekäyrät antoivat Itämerelle kirjallisuuteen paremmin täsmääviä tuloksia kuin pelkkiin jäätikön reunamuotoihin perustuva mallinnus (Kuva 9, Liite 3). Muun muassa Bornholmin saari oli 11000 vuotta sitten maayhteydessä Saksaan ja Puolaan (Björk 1995), mutta pelkkien jäätikön reunamuotojen mukaan sijoitettujen apupisteisobaasien mukaan merenpinta

olisi ollut saarella korkeammalla kuin nykyisin (Liite 3). Lopullisessa menetelmässä Bornholmin ja Saksan välille jäi kapea maayhteys (Kuva 9). Myös Gotlanti ja Öölanti olivat vääristyneet ja vastoin kirjallisuutta (Björk 1995) kokonaan merenpinnan alapuolella pelkkiin jäätikön reunamuotoihin perustuvassa mallissa (Liite 3). Lopullisessa mallinnuksessa saaret olivat osittain merenpinnan yläpuolella (Kuva 9). Näiden saarien ympäristö ei kuulu mallinnettavaan alueeseen, mutta niiden paremmin kirjallisuuteen täsmäävät muodot viittaisivat lopullisen mallinnuksen olevan tarkempi myös mallinnetun alueen kaakkoisosissa sekä Ruotsin länsirannikolla.

7900 vuotta sitten aikaikkunan isobaasien muotojen valintaan käytettiin 4900 vuotta sitten mallinnusta yhdistettynä 11000 vuotta sitten mallinnuksiin. Rantapintapisteiden isobaasit piirrettiin näiden muotojen keskiarvojen avulla. Pelkkien jäätikön reunamuotojen avulla mallinnetun 11000 vuotta sitten aikaikkunan ja 4900 vuotta sitten mallinnuksen muotojen keskiarvoa mukailevia rantapintojen isobaaseja käytettiin alkuperäiseen 7900 mallinnukseen. Nämä apupistekäyrät hylättiin kuitenkin Anholtin saaren virheen takia. Anholtin alueella merenpinta oli tässä alkuperäisessä mallinnuksessa vain hieman yli 3 metriä nykyistä korkeammalla, eikä tämä vastannut Schrøderin (2015) rannansiirtymiskäyrää alueelta, jonka mukaan merenpinta saarella oli noin 6 metriä nykyisen yläpuolella. Lopullisten 11000 ja 4900 vuotta sitten menetelmien yhdistelmään perustuva lopullinen 7900 aikaikkunan mallinnus (Kuva 7) kuitenkin korjasi Anholtin vääristymän. Anholtin merenpinnan korkeus oli Schrøderin (2015) rannansiirtymiskäyrän mukaisesti noin 6,5 metriä nykyistä korkeammalla. Læsøen saaren alueella lopullinen 7900 vuotta sitten menetelmä kuitenkin johti alkuperäistä suurempaan vääristymään. Hansen et al. (2016) rannansiirtymiskäyrän mukaan saaren merenpinta oli 7900 vuotta sitten noin 2 metriä nykyistä matalammalla. Saaren merenpinnan korkeus oli alkuperäisessä mallinnuksessa noin 6,5-8,5 metriä nykyistä korkeammalla ja lopullisessa mallinnuksessa noin 9-11,5 metriä nykyistä korkeammalla, eli molemmat poikkesivat rannansiirtymiskäyrästä selvästi.



Kuva 9. Lounainen Itämeren allas 11000 vuotta sitten aikaikkunassa lopullisen mallinnuksen mukaan. Bornholmin saari on maayhteydessä ja Gotlanti ja Öölanti ovat osittain merenpinnan yläpuolella. Tämä vastaa paremmin kirjallisuutta (Björk 1995) kuin pelkkä jäätikön reunamuotoihin perustuva malli. Paremmin kirjallisuuteen sopiva Itämeren allas viittaa myös mallinnettavan alueen kaakkoisosien ja Ruotsin länsirannikon olevan totuudenmukaisempia.

Koillis-Saksasta Wismarinlahden alueelta on löytynyt 7000 vuotta vanhaa ihmisasutusta alueilta, jotka ovat nykyisin 7 metriä merenpinnan alapuolella (Lübke 2002). Mallinnuksessa merenpinta näillä alueilla oli hieman yli 10 metriä nykyistä matalammalla ja kuivaa maata 7900-vuotta sitten ja vastaavat hyvin Lübken (2002) arkeologisia löytöjä. Harff et al. (2007) mallinnuksessa 7900 vuotta sitten alueen merenpinnan korkeudeksi arvioitiin kuitenkin vain 7,3 metriä nykyisen alapuolella. Tämä yhdessä Lübken (2002) havainnon kanssa, jonka mukaan merenpinta olisi ollut noin seitsemän metriä nykyisen alapuolella 7050 vuotta sitten (Taulukko 1, piste 53.), on ristiriidassa Lambeck et al. (2014) globaalin merenpinnan muutoksen kanssa. Alueen merenpinta kohosi aikakautena nopeasti ja 850 vuodessa se olisi kohonnut todennäköisesti useita metrejä, sillä merenkoamisvauhdin hidastumisesta huolimatta 7050-6050 sitten välisenä aikana merenpinta kohosi noin 4 metriä. Lambeck et al. (2014) mukaan globaalin merenpinnan muutos 7900-7050 välisenä aikana oli samaa suuruusluokkaa kuin 7050-6050 aikakauden alkupuolella ennen merenpinnan nousun hidastumista. Tällöin mallinnuksen antama korkeus merenpinnan tasolle 7900 aikaikkunaan, hieman yli 10 metriä nykyisen alapuolella, sopisi melko hyvin yhteen Lübken (2002) havaintojen kanssa. Myös Lampe et al. (2005) rannansiirtymiskäyrä Wismarinlahdelta täsmää mallinnukseni kanssa. Kaikki tämä viittaisi Harff et al. (2007) tulkinnan virheellisyyteen.

Mikäli Harff et al. (2007) tulkinta 7,3 metrin syvyydestä Wismarinlahden alueella 7900 vuotta sitten pitää paikkansa, täytyisi isobaasien apupistekäyriä muuttaa mukailemaan enemmän nykyisen maankohoamisen muotoja. Sijoittamalla 7 metrin korkeuskäyrä Schröder (2015) kuvaajan alueelta Wismarinlahden alueen kautta sen muoto olisi hyvin lähellä nykyisen maankohoamisen muotoja, joita käytettiin 4900 vuotta sitten aikaikkunassa. Tämä voisi johtua joko 11000 vuotta sitten mallinnuksen lounaisosan virheellisyydestä tai 7900 vuotta sitten mallinnus painottaa liikaa 11000 vuotta sitten mallinnusta verrattuna 4900 vuotta sitten mallinnukseen. Wismarinlahden alueen mallintamiseen 11000 vuotta sitten aikaikkunassa käytettiin isobaaseja, joiden muoto saatiin eteläisimpien rantapintapisteiden muotoja mukailemalla, ja joiden korkeus saatiin Schröderin (2015) kuvaajasta, joka kulki Etelä-Tanskasta Lounais-Ruotsiin Anholtin läheltä. Näiden isobaasien muoto perustuu rantapintojen puutteessa oletukseen isobaasien muotojen säilymisestä liikuttaessa kohti lounasta. Myös valinta käyttää



11000 ja 4900 vuotta sitten aikaikkunoiden isobaasien keskiarvoa 7900 aikaikkunan isobaaseille on voinut johtaa virheeseen. Glasioisostaattinen maankohoaminen ei hidastu lineaarisesti ja lisäksi maankohoamisen isobaasit ovat saattaneet saada nykyiset muotonsa jo aikaisemmin kuin 4900 vuotta sitten. Tällöin 11000 ja 4900 vuotta sitten aikaikkunoiden isobaasien erilaisella painotuksella voitaisiin päästä parempaan tulokseen 7900 vuotta sitten aikaikkunassa. Näitä mahdollisia parannusehdotuksia ja Harff et al. (2007) arviota merenpinnan syvyydelle Wismarinlahdella ei kuitenkaan ole huomioitu mallinnuksissa.

Læsøn saaren poikkeamia yritettiin korjata erillisellä versiolla lopullisista 11000 ja 7900 mallinnuksista. Læsøn rannansiirtymiskäyrästä (Hansen et al. 2016) saatua 0 metrin korkeutta käytettiin erillisenä rantapintapisteenä 11000 vuotta sitten mallinnuksessa. Sille piirrettiin apupistekäyrä, joka noudatti pisteiden X ja Y isobaasien muotoja. Apupistekäyrä sopi aineistoon, sillä se jäi -33,46 metrin ja 10 metrin isobaasien väliin. Tämä apupistekäyrä kuitenkin johti virheeseen Anholtin saarella ja se hylättiin. Anholtin alueella merenpinnan korkeus Schrøderin (2015) rannansiirtymiskäyrän perusteella oli korkeimmillaan saaren lounaisosissa noin 27 metriä nykyisen alapuolella, mutta sijoittamalla Læsøn isobaasin apupistekäyrä mallinnukseen merenpinnan korkeus saarella muuttui saaren koillisosissakin vain noin 20 metriin nykyisen merenpinnan alapuolelle. Tämän lisäksi tästä 11000 vuotta sitten mallinnuksesta ja 4900 vuotta sitten mallinnuksesta yhdistetty 7900 mallinnus ei korjannut virhettä Læsøn saarella 7900 vuotta sitten ja johti myös vääristymään Anholtilla. Anholtille muodostuneiden vääristymien ja Læsøn vääristymän säilymisen vuoksi 7900 vuotta sitten aikaikkunan mallinnuksessa Læsøn isobaasikäyrästä luovuttiin. Myös Hansen et al. (2012 ja 2016) tulkinta saaren anomalisesta maankohoamisesta vaikutti päätökseen. Poikkeamaa anomalian Læsøn saaren alueella pidettiin parempana vaihtoehtona kuin Anholtin saaren alueella, jonka ei ole tulkittu kohonneen anomalisesti. Lopullinen mallinnusmenetelmä 11000 ja 7900 vuotta sitten aikaikkunoissa antaa siis vääristyneitä tuloksia Læsøn saarella, eikä sovi Hansen et al. (2016) rannansiirtymiskäyrään alueelta.

## 5.2. Altaan kallistuminen

Viimeisen 11000 vuoden aikana Kattegatin ympäristö kallistui voimakkaasti kohti lounaista. Altaan kallistus on seurausta pääosin mannerjäätikön aiheuttamasta glasioisostasiasta. Jäätikön sulaessa sen reunan ulkopuolelle kertynyt ylimääräinen vaipan aines pääsi virtaamaan takaisin jäätikön alueelle, johtaen maan vajoamiseen mallinnetun alueen lounaisosissa ja maankohoamiseen alueen muissa osissa (Fjeldskaar 1994). Oslovuonon ympäristössä maa kohosi suhteessa merenpintaan yli 100 metriä ja samana aikakautena Tanskan eteläosissa maa vajosi suhteessa merenpintaan noin 50 metriä. Merenpinta oli Skånen ja Jyllannin välillä noin 30-50 metriä nykyistä matalammalla (Kuva 3). Altaan kallistuminen jatkuu edelleen (Joud et al. 2017).

7900 vuotta sitten altaan kallistumisesta suurin osa oli jo tapahtunut. Muun muassa Pohjois-Skagerrakin rannikkoalueet, jotka olivat 3100 vuotta aiemmin noin 100 metriä merenpinnan alapuolella, kohosivat merenpintaan suhteutettuna noin 50 metrillä. Samana aikana globaali eustaattinen merenpinta kohosi lähes 40 metriä (Lambeck et al. 2014). Valtaosa Kattegatin altaasta jäi merenpinnan alle. Myös Vänernin valtameriyhteys katkesi ja Tanskan salmet aukesivat Kattegatin ja Itämeren välille. Itämerellä tämä näkyy ensin suolapulssina alkaen noin 10000 vuotta sitten ja myöhemmin murtovesivaiheen alkuna (Andrén et al. 2000a, Andrén et al. 2000b). Kattegatin lounaisosissa merenpinta oli nykyistä matalammalla ja Luoteis-Saksassa rannikko oli vielä yli 15 metriä nykyistä matalammalla (Kuva 7).

4900 vuotta sitten Kattegatin allas oli kallistunut lisää. Skagerrakin keskivaiheilla suhteellinen merenpinta oli enää noin 15 metriä nykyistä korkeammalla ja maanpinta oli kohonnut suhteessa siihen noin 10 metriä 3000 vuoden aikana vaikka eustaattinen merenpinnan taso oli jatkanut nousuaan yli kymmenellä metrillä (Lambeck et al. 2014). Vastaavasti Saksan luoteisrannikkolla suhteellinen merenpinta oli kohonnut noin 15 metristä merenpinnan alta (7900 mallinnuksen uloin apupistekäyrä oli 17 metriä merenpinnan alla alueella, Kuva 4) vajaaseen viiteen metriin (4900 vuotta sitten mallinnuksessa uloin apupistekäyrä oli 4 metriä merenpinnan alla, Kuva 5).

### 5.3. Eustaattiset merenpinnan vaihtelut

Arviot merenpinnan kohoamisesta viime jääkauden maksimivaiheen jälkeen vaihtelevat noin 120 metristä (Peltier ja Fairbanks 2006) 134 metriin (Lambeck et al 2014). Nopeimmillaan nousu oli ennen nuorempaa dryasta 16500-12500 vuotta sitten ja uudelleen sen jälkeen 11500-8200 vuotta sitten, hidastuen selvästi noin 7000 vuotta sitten (Lambeck et al. 2014). Viimeisen 11000 vuoden aikana merenpinta on kohonnut noin 50 metriä, josta noin 40 metriä 11000-7900 vuotta sitten ja vain noin metrin viimeisen 4900 vuoden aikana (Lambeck et al. 2014). Kattegatin alueelta on löytynyt merkkejä myös nykyistä korkeammasta merenpinnan tasosta. Clemmensen et al. (2001) mukaan Skagen Odden rantapinnat viittaavat eustaattisen merenpinnan olleen hieman alle 2 metriä nykyistä korkeammalla. Tämä selittäisi Kattegatin nykyistä korkeampaa merenpinnan tasoa 4900 vuotta sitten mallinnuksessa.

Kattegatin alueella suhteellisen merenpinnan nousu alkoi globaalin eustaattisen merenpinnan nousun ylittäessä paikallisen isostaattisen maankohoamisen. Tämä tapahtui eri alueilla eri aikoina. Muun muassa Anholtin eteläpuolisella merialueella suhteellinen merenpinta alkoi kohota noin 11400 vuotta sitten (Jensen et al. 2002), Anholtilla noin 10000 vuotta sitten (Schrøder 2015) ja Læsøen alueella Pohjois-Kattegatilla noin 9000 vuotta sitten (Hansen et al. 2016). 11000 vuotta sitten mallinnuksen aikaan suhteellinen merenpinta kohosi Anholtin eteläpuolella, oli suunnilleen paikoillaan Anholtilla (Schrøder 2015) ja laski sen pohjoispuolella.

Eustaattisen merenpinnan kohoamisen hidastuttua suhteellinen merenpinnan nousu päättyi monilla alueilla Kattegatilla ja kääntyi taas laskuun. Esimerkiksi Anholtilla korkein merenpinnan taso saavutettiin noin 6650 vuotta sitten (Bjørnsen et al. 2008) ja Skagen Odden alueellakin noin 6000-7000 vuotta sitten (Liite 2). Mallinnetun alueen pohjoisosissa kuten Norjan kaakkoisosissa maankohoaminen oli kaikkien mallinnettujen aikakausien ajan nopeampaa kuin eustaattisen merenpinnan nousu (Liite 2).

Kuvissa 3 ja 6, 11000 vuotta sitten aikaikkunassa, lounaisin apupistekäyrä on -60 metrin isobaasille ja tämä alue on ollut jäätikön reunan ulkopuolisen pullistuman (forebulge) alueella. Tällä alueella suhteellisen merenpinnan muutoksiin on vaikuttanut

merenpinnan kohoamisen lisäksi myös maan vajoaminen mannerjäätikön massan syrjäyttämän vaipan aineksen virratessa alueelta takaisin kohti koillista mannerjäätiköiden sulamisen jälkeen (Bungenstock ja Schäfer 2009). Mallinnetun alueen lounaisosissa Luoteis-Saksassa maanvajoamisen vaikutus suhteelliseen merenpinnan kohoamiseen viimeisen 10000 vuoden aikana on ollut yli 10 metriä ja tämän alueen halki kulkee Euroopan luoteisrannikon nopeimman maanvajoamisen vyöhyke (Vink et al. 2007).

#### **5.4. Tanskan salmet ja yhteys Itämereen**

Yoldiamerivaiheen murtovesivaihe päättyi Itämerellä noin 11100 vuotta sitten ja koko Yoldiamerivaihe noin 10700 vuotta sitten (Andrén et al. 2000a, Andrén et al. 2000b). Mallinnuksen mukaan 11000 tuhatta vuotta sitten Vänern ja sen kautta myös Itämeren allas olivat yhteydessä valtamereseen, tosin yhteys oli melko kapea. Tämä sopisi hyvin yhteen Yoldiamerellä vallinneeseen makeanveden vaiheeseen. Mallinnuksen perusteella laajin Vänernin ja Skagerrakin välinen yhteys kulki Vänernin lounaisosista nykyisen Götajoen alueella ja muut reitit olivat jo joko poikki tai erittäin kapeita. 7900 vuotta sitten aikaikkunan mallinnuksen mukaan Vänern oli kuroutunut erilleen valtamerestä. Lambeckin (1999) mukaan Götajoen alueella Vänernin ja Skagerrakin välinen kynnys kohosi merenpinnan yläpuolelle viimeistään noin 8500 vuotta sitten (7700  $^{14}\text{C}$ ) eli mallinnusmenetelmä antoi kirjallisuuteen täsmäviä tuloksia Vänernin alueelta.

Noin 10000 vuotta sitten Ancylusjärveen alkoi päästä satunnaisia suolapulseja Tanskan salmista (Andrén et al. 2000b), ja Itämeren altaan lounaisosissa ensimmäiset meriolosuhteisiin erikoistuneet piilevät alkoivat yleistyä noin 9500 vuotta sitten (Eronen et al. 1990). Björkin (1995) mukaan Juutinrauma jäi meren alle noin 8800 vuotta sitten (8000  $^{14}\text{C}$ ), jonka jälkeen Itämereen pääsi virtaamaan enemmän suolaista vettä. Ancylusjärvivaihe päättyi Itämeren lounaisosissa noin 8600 vuotta sitten (Witkowski et al. 2005, Witkowski et al. 2009). Litorinamerivaihe alkoi vaihteittain merenpinnan noustua sen virtausta rajoittavien kynnysten yli noin 8000-7200 vuotta sitten (Rößler 2011) ja Itämeren altaan pohjoisosissa vasta noin 7000 vuotta sitten (Häusler et al.

2017). 7900 vuotta sitten karttaesitys kuvastaa eri alueilla joko Mastogloia vaiheen loppua tai varsinaisen Litorinamerivaiheen alkua.

Mallinnuksen perusteella Tanskan salmet olisivat jo kokonaan meren alla 7900 vuotta sitten. Juutinrauman alueella syvyys oli matalimmallakin alueella nykyisen Kööpenhaminan ja Malmön välillä noin 10 metriä. Iso-Beltin salmessa kulkee koko salmen matkalla kapea syvempi uoma, joka oli mallinnuksen mukaan matalimmillakin alueilla noin 20 metriä syvä. Syvän uoman ja rannikon väliin jäi matalamman meren vyöhyke, jonka syvyys vaihteli pääasiassa 5-10 metrin välillä. Vähä-Beltin syvyys oli matalimmilla alueilla noin 10 metriä ja leveys kapeimmilla alueilla vain noin 500 metrin luokkaa. Mallinnuksessa Juutinrauman alueella merenpinta oli hieman korkeammalla kuin nykyisin ja lisäksi salmiin 7900 vuoden aikana kerrostuneita sedimenttejä ei ole huomioitu mallinnuksessa. Toisaalta Iso-Beltin alueella merenpinta oli noin 4-9 metriä nykyistä matalammalla ja Vähä-Beltillä noin 5-10 metriä nykyistä matalammalla ja myös mahdollinen eroosio alueella on huomioimatta.

Kotthoff et al. (2017) arvioi eteläiselle Vähä-Beltille saapuneen suolaista vettä vasta noin 7400 vuotta sitten ja ettei Vähä-Beltin eteläosilla ollut yhteyttä valtameriin Kattegatin kautta, eikä välttämättä edes Itämeren altaaseen. Warnock et al. (2019) tutki myös eteläisen Vähä-Beltin sedimenttejä ja tulkitsi niiden muodostuneen murtoveteen jo vähintään 7800 vuotta sitten. 7900 vuotta sitten mallinnuksen perusteella Warnock et al. (2019) tulkinta vaikuttaa todennäköisemmältä. Joka tapauksessa vesi Vähä-Beltillä oli vähäsuolaisempaa 7900 vuotta sitten kuin nykyään (Warnock et al. 2019).

Salmien alueelta ei ole kuin yksi rantapiste Skånesta ja mallinnus saattaa antaa varsinkin Iso-Beltille joko liian syviä tai matalia arvoja. Tosin malli näyttäisi antavan kirjallisuuteen täsmääviä korkeuksia sekä salmien pohjoispuolella Anholtilla, että mahdollisesti niiden eteläpuolella Wismarinlahdella. Lisäksi myös Samsøn pisteen läheisyys lisää mallin tarkkuutta Tanskan salmien alueella.

4900 vuotta sitten merenpinta oli lähes koko Tanskan salmien alueella korkeammalla kuin nykyisin. Juutinrauman pohjoisosissa merenpinta oli nykyistä 4 metriä korkeammalla ja eteläosissa noin 2 metriä korkeammalla. Suur-Beltillä merenpinta

vaihteli pohjoisosien 2,5 metristä eteläosien 0,5 metriin nykyisen merenpinnan yläpuolella. Vähä-Beltin pohjoisosissa merenpinta oli noin 2 metriä nykyisen yläpuolella ja eteläosissa nykyisen merenpinnan tasossa. 4900 vuotta sitten mallissa huomioimatta jätetty sedimentaatio salmissa merkitsee niiden olleen vielä selkeämmin nykyistä syvempiä, tosin myös eroosio alueella on huomioimatta. Lisäksi mallista näkyvä korkeampi merenpinta merkitsee mallin perusteella nykyistä suolaisempaa vaihetta Itämeren altaassa. 4900 vuotta sitten Itämeren altaassa vallitsikin sen suolaisin vaihe, joka alkoi noin 7100 vuotta sitten ja päättyi noin 3900 vuotta sitten (Widerlund ja Anderson 2011, Warnock et al. 2019). Tällöin Pohjanlahdenkin alueella pintaveden suolaisuus saattoi olla jopa 10-12‰ (Widerlund ja Anderson 2011).

### **5.5. Sedimentaatio ja eroosio Kattegatin alueella**

Mannerjäätikkö kuljetti suuria määriä sedimenttejä Skagerrakin ja Kattegatin alueelle ja 11300 vuotta sitten saakka nämä muodostivat merkittävän osan varsinkin Skagerrakin sedimentaatiosta, jonka jälkeen 11300-10300 vuotta sitten sedimentaatiota hallitsi Itämereltä ja Vänerniltä tulleen jäätikköperäisen aineksen uudelleenkerrostuminen (Gyllencreutz 2005, Gyllencreutz ja Kissel 2006). 8500 vuotta sitten mennessä jäätikön vaikutus sedimentaatioon oli päättynyt ja sedimentaatio muistutti normaalia merisedimentaatiota (Gyllencreutz 2005, Gyllencreutz ja Kissel 2006). Nykyisen kaltainen virtaus alkoi alueella kohonneen meren peitettyä entisiä maa-alueita ja Atlantilta tulevien merivirtojen voimistuttua muun muassa Englannin kanaalin auettua. Myös Tanskan salmet aukesivat tuoden alueelle virtauksia ja sedimenttejä myös Itämeren altaasta (Gyllencreutz 2005, Gyllencreutz ja Kissel 2006).

Skagerrakin ja Kattegatin alueen merivirrat vaihtelivat holoseenin aikana. Noin 9800-9500 ja 5700-4700  $^{14}\text{C}$  vuotta sitten suolaisen veden virtaus alueelle lisääntyi todennäköisesti Jyllannin virran voimistuessa (Jiang et al. 1998). 7700-5900  $^{14}\text{C}$  vuotta sitten suolaisuus laski alueella Itämereltä tulevan makeamman veden virtauksen voimistuessa (Jiang et al. 1998).

Skagen-Odden kynnäs alkoi muodostua noin 7150 vuotta sitten (Nielsen ja Johannessen 2009). Pohjanmeren suunnasta virtaavat rannikon mukaiset merivirrat kerrostivat hiekkaa kynnäkseen ja sen kerrostuminen jatkuu edelleen (Nielsen ja Johannessen

2009). Jo pelkän hiekan paksuuden keskiarvo kynnäksessä vaihtelee 24:stä 32 metriin (Nielsen ja Johannessen 2009). Skagen-Odden merenpinnan yläpuolella olevan osan korkeus 7900 vuotta sitten oli mallinnuksen mukaan korkeimmillaan noin 15-20 metrin korkeudella eli koko nykyisen Skagen-Odden kynnäksen alue oli todennäköisesti merenpinnan alapuolella. Skagen-Odden kynnäksen kärjestä on porattu Skagen 3/4 kairanreikä. Sieltä ajoitettiin 11000 vuotta vanhoja sedimenttejä noin 114 metrin syvyydestä. Koska kairanreikä alkaa noin 1 metrin korkeudesta (Knudsen 1994), sedimentit ovat noin 113 metriä nykyisen merenpinnan alapuolelta. Niiden tulkittiin muodostuneen 100-150 metrin syvyyteen (Knudsen et al. 1996). 11000 vuotta sitten kynnäs oli selvästi merenpinnan alapuolella toisin kuin mallinnuksessa. Tämä virhe johtuu sedimentaatiosta, jota ei ole huomioitu mallinnuksessa. Sedimentaation vuoksi myöskään 7900 ja 4900 aikaikkunoissa Skagen Odden alue (Kuva 7, piste 80, Kuva 8, piste 29) tuskin vastaa todellisuutta kovin hyvin.

Mikäli arvio 11000 vuotta sitten muodostuneiden sedimenttien 100-150 metrin muodostumissyvyydestä Skagen kairanreiässä pitää paikkansa tulisi merenpinnan olla korkeintaan 13 metriä nykyisen alapuolella mallinnuksessa (olettaen 11000 vuotta vanhojen sedimenttien muodostumissyvyydeksi minimin, noin 100 metriä, ja niiden nykyiseksi syvyydeksi noin 113 metriä, tällöin nykyisen merenpinnan tason sedimentit olisivat noin 13 metrin korkeudessa). Lopullisessa mallinnuksessa Skagen 3 kairanreiän alueella merenpinta oli noin 7 metriä nykyisen alapuolella, jolloin 11000 vuotta vanhat sedimentit muodostuivat noin 106 metrin syvyyteen eli täsmäivät Knudsen et al. (1996) arvioon.

Pelkkiin jäätikön reunamuotoihin 11000, 16000 ja 22000 vuotta sitten perustuneessa mallinnuksessa merenpinta oli alueella noin 34 metriä nykyisen alapuolella. Tällöin Skagen 3 sedimentit olisivat joko muodostuneet vain noin 80 metrin syvyydessä tai mallinnus antaa alueelle vähintään noin 20 metriä liian korkeita arvoja. Tämä johtui mallinnusmenetelmän antamien apupistemuotojen arvoista alueella. Jäätikön maksimilaajuuden aikaan sen reuna teki mutkan Tanskan alueella, siten että Lounais-Tanska oli jäätikön ulkopuolella (Hughes et al. 2016). Tämä mutka johti menetelmässä Skagen Odden alueella Kattegatin laguunin rantapinnan (Kuva 6, piste 19) apupistekäyrän kulkuun alueen halki. Knudsen et al. (1996) syvyysarvion perusteella

todettiin, että tämän käyrän tulisi kulkea kauempana lounaassa. Tätä vääristymää selvittäessä havaittiin, että jäätikön paksuuden huomiointi johti parempiin tuloksiin alueella. Kuten aiemmin mainittiin, tämä johti osaltaan pelkkiin jäätikön muotoihin perustuvan mallinnusmenetelmän hylkäämiseen.

Osa rantapintapisteistä oli jäänyt sedimentaation seurauksena syvälle sedimenttien peittoon. Karttoja tehdessä ei ole huomioitu rantapintojen muodostumisen jälkeen kertyneiden sedimenttikerrosten paksuutta. Tällöin kertyneet sedimentit antavat harhaanjohtavan kuvan meren yläpuolisten maa-alueiden laajuudesta. Varsinkin paksujen sedimenttikerrosten alle jääneissä pisteissä, kuten merenalaisissa laguuneissa (Kuva 6, piste 19), tämä on havaittavissa kartalla rantapisteen sijaintina sisämaassa.

Myös eroosiolla on ollut vaikutuksensa. Litorinatransgressiot noin 6300 vuotta sitten johtivat eroosioon Læsøssa ja sen lähialueilla Jyllannin itärannikolla, joissa ne kerrostivat sedimenttejä uudelleen (Hansen et al. 2016). Eroosio kulutti Læsøsta 10-20 metriä sedimenttejä ja kiihdytti maankohoamista alueella (Hansen et al. 2012, Hansen et al. 2016). Lisäksi litorinatransgressioiden eroosio hävitti muinaisrantoja alueelta ja johti vähäiseen muinaisrantojen määrään alueella. Vähäinen rantapintojen määrä alueella heikentää osaltaan mallien tarkkuutta.

## **5.6. Tektoniikan vaikutus**

Hansen et al. (2012) mukaan Læsøn rantapinnat ovat noin 2-3 metriä korkeammalla kuin niiden olisi kuulunut olla pelkän eustasian ja isostasian perusteella. Eroosion kiihdyttämän maankohoamisen lisäksi myös Sorgenfrei-Tornquist-vyöhykkeen läheisyys olisi vaikuttanut saaren rantapintojen korkeuteen (Hansen et al. 2016). Mahdollisia tektonisia muutoksia ei ole huomioitu Læsøn rantapintapisteessä. Koska mahdollista 2-3 metrin poikkeamaa ei ole 4900 vuotta sitten aikaikkunassa saaren alueella huomioitu, Læsøn saaren rantapinnan tulisi olla korkeammalla kuin sen kanssa läheisellä isobaasilla oleva Skagen Odden samanikäinen rantapintapiste. Näin ei kuitenkaan ole ja 4900 vuotta sitten mallinnuksessa (Kuva 8) Læsøn (piste 27) rantapinnan korkeus vastaa lähes täysin sen kanssa läheisellä apupistelinjalla olevaa Skagen Oddea (piste 29). Tämän perusteella Læsøn saaren alueen neotektoninen



anomalia ainakaan viimeisen 4900 vuoden ei vaikuta todennäköiseltä. Myös Gregersen ja Voss (2012 ja 2014) pitivät todistusaineistoa suuresta neotektonisesta poikkeamasta Læsøn saarella riittämättömänä ja tulkitsivat saaren maankohoamisen vastaavan lähialuetta tai poikkeamaan tästä vain vähäisesti.

11000 ja 7900 vuotta sitten aikaikkunoiden malleissa, joissa Læsøn saarelta ei ole rantapintapisteitä, sen korkeus ei täsmää Hansenin et al. (2016) rannansiirtymiskäyrään alueelta. Hansen et al. (2016) arvioi saaren merenpinnan olleen 11000 vuotta sitten noin nykyisellä tasolla, mutta mallinnuksessani merenpinnan korkeus oli saaren lounaisosissa noin 6,5 metriä ja koillisosissa noin 22 metriä nykyisen merenpinnan alapuolella. 7900 vuotta merenpinta oli mallinnuksen mukaan saaren lounaisosissa noin 9 metriä ja koillisosissa noin 11 metriä nykyisen yläpuolella ja artikkelin rannansiirtymiskäyrän mukaan merenpinta saarella oli noin 2 metriä nykyisen tason alapuolella. Mikäli tulkinta saaren poikkeuksellisesta maankohoamisesta pitää paikkansa, saattaa se selittää osan vääristymästä 11000 ja 7900 vuotta sitten mallinuksissa. Saaren alueella vääristymä oli pelkkään jäätikön muotoon perustuvassa mallinnuksessa molemmissa aikaikkunoissa vielä suurempi. Saaren litorinatransgressioita vanhempien rantapintojen korkeuksien selvitystä haittaa saaren ja sen ympäristön voimakas eroosio litorinatransgressioissa, jotka hävittivät aikaisemmat rantapinnat (Hansen et al. 2016).

Brandes et al. (2018) mukaan Sorgenfrei-Tornquist-vyöhykkeen voimakkain tektooninen aktiviteetti tapahtui ainakin Tanskan pohjoisosissa jo noin 14500-12000 vuotta sitten. Tällöin alueella tapahtui usean metrin siirroksia ja korkeimmillaan magnitudin 7 maanjäristyksiä (Brandes et al. 2018). Myös Anholtin saaren eteläpuolisissa osissa Kattegatia siirrosvyöhykkeiden uudelleenaktivoituminen oli päättynyt 11000 vuotta sitten (Jensen et al. 2002). Tällä aikavälillä tapahtuneita siirroksia ei tarvitse huomioida minkään tässä työssä tehdyn mallinnuksen osalta, mutta uudemmat siirrokset vyöhykkeen alueella täytyisi ottaa huomioon malleja tarkentaessa. Koska ajallisesti ja spatiaalisesti kattavaa aineistoa Sorgenfrei-Tornquist-vyöhykkeen siirrostien vertikaalin liikkeen kokonaisvaikutuksesta holoseenin aikana ei ole saatavilla, niiden mahdollinen vaikutus on jätetty mallinnuksesta pois.

### 5.7. Käytännön merkitys

Mallinnuksia aikaikkunoiden merenpinnan tasoista voidaan käyttää apuna selvittäessä merenpeittämien alueiden laajuutta ja esimerkiksi mahdollisuutta juoksusaven (quick-clay) esiintymiseen mallinnetulla alueella. Juoksusavi on suolaiseen ympäristöön kerrostunutta savea, jonka suolapitoisuus on laskenut sen kohottua merenpinnan yläpuolelle ja altistuttua sateelle (Geertsema 2018). Suolan määrän vähentyminen johtaa saven rakenteen heikkenemiseen, joka puolestaan lisää mahdollisesti tuhoisien maanvyörymien riskiä (Geertsema 2018).

Mallinnuksien avulla on mahdollista selvittää muinaisten merenalaisten maa-alueiden laajuutta ja meren syvyyttä ja selvittää siten juoksusaven olemassaoloa eri alueilla. Menetelmistä kannattaa tällöin käyttää 11000 vuotta sitten aikaikkunaa Skagerrakin rannikolla, sekä 7900 ja 4900 aikaikkunoiden avulla eripuolilla Kattegatia. Kuitenkin mallinnettujen aikaikkunoiden vähäisyys vähentää niiden hyödyllisyyttä juoksusaven esiintyvyyden arvioimiseen, sillä ne eivät monella alueella kuvaa meren laajinta tai syvintä vaihetta.

Maankäytön suunnittelun lisäksi mallinnettujen aikaikkunoiden avulla on myös mahdollista luoda yleiskäsitys eri alueiden suhteellisen merenpinnan muutoksista suhteessa nykyiseen merenpinnan tasoon. Mallinnukset ulottuvat myös alueille, joilta ei ole suoraan saatavilla pistemäistä rantapinta-aineistoa ja näillä alueilla mallinnuksista voi olla hyötyä esimerkiksi arkeologisia tutkimuksia suunnitellessa, kuten rannikoilla olleiden muinaisasutusten etsinnässä.

### 5.8. Virhelähteet

Mallinnuksen suurin ongelma on varsinaisten rantapintapisteiden vähäisyys. Tämä johti suureen riippuvuuteen apupisteistä. Apupisteiden käyttö TIN-interpoloinnissa rajaa karttojen tarkan alueen rantapintapisteiden läheisille alueille. Esimerkiksi 11000 vuotta sitten mallinnuksessa koko mallinnetun alueen lounaisosasta ei ole yhtään varsinaista rantapintapistettä, tosin Tanskan eteläosista ja Pohjanmereltä Saksan rannikolta oli

Schrøderin (2015) kuvaajaan perustuvat arviot merenkorkeudesta 50 ja 60 metriä nykyisen alapuolella. Mallinnusten reuna-alueita kaukana rantapintapisteistä voi pitää korkeintaan suuntaa antavana. Eri apupisteiden sijoittelumenetelmillä saatiin selvästi toisistaan poikkeavia tuloksia, esimerkiksi pelkkiin jäätikön reunamuotoihin perustuva mallinnus johti joillain Keski-Ruotsin alueilla kymmenien metrien heittoon lopulliseen menetelmään verrattuna.

Datasettiin liittyy monia ongelmia. Pisteitä on alueen kokoon ja aikavälin suuruuteen suhteutettuna melko vähän. Lisäksi suuri osa pisteistä on keskittynyt muutamaankin tiheään ryppääseen varsinkin Kattegatin pohjoispuolella Skagerrakissa. Vastaavasti esimerkiksi Jyllannin itärannikolta pisteet olivat vähissä. Myös ajallisesti pisteiden jakauma on ongelmallinen. Yli kymmenentuhannen vuoden ikäisistä pisteistä valtaosa on Ruotsin puolella, Tanskan puolella on vain muutama merenalainen piste. Vastaavasti nuoremmissa pisteissä Tanskan puolelta löytyy pisteitä selkeästi kattavammin kuin Ruotsista, tosin ero ei ole yhtä suuri.

Mallinnusta varten tarvittiin monta pistettä samalta aikakaudelta. Varsinaisten rantapintapisteiden lisäksi tällöin jouduttiin arvioimaan merenpinnan korkeutta joillain alueilla rannansiirtymiskäyristä. Tällöin arviointiin käytettiin kahta, mallinnusaikaa ajallisesti lähintä pistettä, alueilta, joilla oli runsaasti pisteitä. Niiden avulla laskettiin merenpinnan korkeus alueella arvioiden rannansiirtymisen olleen lineaarista. Tällöin mahdolliset lyhytkestoiset muutokset merenpinnassa eivät näy rannansiirtymiskäyristä lasketuissa pisteissä, mutta ne saattavat näkyä suoraan kirjallisuudesta löydetyissä rantapisteissä, johtaen virheisiin mallinnuksessa. Lisäksi mallinnukseen hyväksyttiin ajallisesti lähellä olevia pisteitä noin 150-200 vuoden jaksolta ennen ja jälkeen mallinnusaikaa. Tällöin mahdollinen nopea muutos alueen merenpinnan korkeuksissa saattaa aiheuttaa suuriakin virheitä mallinnukseen. Pisteinä 3 käytetty 45 metrin korkeus on virheellinen. Laskemalla sen korkeus rannansiirtymiskäyrästä sen korkeus olisi noin 45,85 metriä, mutta vain 100 vuoden heiton takia sen korkeutena olisi voinut käyttää myös suoraan korkeutta 47,5 metriä. Virheen aiheuttama muutos on kuitenkin melko pieni. Pisteinä 25 korkeuden arvioon käytettiin menetelmää, jossa rannansiirtymiskäyrän kulmakertoimen avulla arvioitiin molempia rantapisteitä nuorempi rantapinnan korkeus. Maankohoamisen ja merenpinnan muutokset eivät ole

jatkuneet samana, arvio on todennäköisesti virheellinen. Virhe on kuitenkin todennäköisesti melko pieni. Pisteiden 3 ja 25 virheet saattavat aiheuttaa vääristymää mallinukseen niiden apupistekäyrien läheisyyteen. Mikäli pisteitä olisi ollut enemmän käytettävissä, olisi näiltä virheiltä voitu ainakin osittain välttyä.

Osasta kalibroimattomia pisteitä puuttui kalibroidessa tarvittava virhemarginaali ja näissä kaikissa käytettiin samaa arviota  $\pm 100$  vuotta. Tämä luultavasti oli liian optimistinen virhemarginaali varsinkin vanhimmille pisteille.

Myös valinta kahdella menetelmällä tehdyn ajoituksen erotuksen käytöstä virhemarginaalina johti kyseenalaisiin tuloksiin. Tähän päädyttiin Pohjois-Vänernin aluetta käsittelevän artikkelin kanssa (Risberg et al. 1996), jossa oli ilmoitettu ajoitettujen järvien kuroutumistasojen iät kahdella eri menetelmällä ajoitettuna. Toinen ikä oli suora kalibroimaton radiohiili-ikä ja toinen ikä perustui siitepölyanalyysiin alueesta, myös kalibroimattomina radiohiilivuosina. Näiden keskiarvoa käytettiin kalibroitavana ikänä ja ikien eroa kalibrointiin tarvittavana virhemarginaalina. Yhden rantapintapisteen (Taulukko 1, piste 49) virhemarginaaliksi tuli näin vain  $\pm 13$  vuotta. Liian pieni virhemarginaali saattaa johtaa virheelliseen kalibroituun ikään ja noin 11000 vuotta vanhalle pisteelle  $\pm 13$  vuotta on epärealistinen. Kahdelle muulle saatiin virhemarginaaliksi  $\pm 25$  vuotta. Mitään näistä kolmesta pisteestä ei mallinnuksessa käytetty, mutta yhden rantapintapisteen (Kuva 6, piste 45) virhemarginaali oli  $\pm 88$  vuotta eli alle  $\pm 100$  vuotta. Osittain näiden kapean virhemarginaalin pisteiden virheellisyyden selvittämiseksi aineisto kalibroitiin uudelleen (Liite 1) suuremmilla virhemarginaaleilla, käyttäen vähintään  $\pm 100$  vuotta. Uudelleenkalibrointiin käytettiin CALIB-ohjelmiston versiota 8.2 (Stuiver et al. 2020b, <http://calib.org>) ja Intcal20 kalibrointimenetelmää. Samalla kalibroitiin uudelleen myös muut rantapintapisteen. Intcal20 menetelmällä ja  $\pm 100$  virhemarginaalilla pisteiden ikä muuttui muutamasta vuodesta noin 20 vuoteen eli virheet olivat lopulta pieniä. Kuvan 3 pisteen 45 ikä muuttui vain 4 vuodella 10848 vuodesta 10844 vuoteen.

Nämä kalibroidessa tehdyt valinnat selittävät luultavasti osaltaan rannansiirtymiskäyrien poikkeamia varsinkin Vänernillä, jossa samanikäisiä pisteitä on samalta alueelta monelta eri korkeudelta (Liite 2). Tosin Vänernin pohjoisosissa havaittiin myös eri

alueilta toisistaan poikkeavia anomaalisia maankohoamisnopeuksia, jotka selittävät suurimman osan rannansiirtymiskäyrien poikkeamista alueella (Risberg et al. 1996). Myös Marine13 kalibrointimenetelmässä käytetyt allaskorjauksen arvot olivat melko laajalta alueelta ja vaihtelivat suuresti eri alueilla, vaikka aineistosta valittiin kalibroituja alueita lähimmät 20 arvoa.

Länsi-Vänernin rantapintapisteiden kalibrointimenetelmään liittyi epävarmuutta. Björk ja Digerfeldt (1991) mainitsivat alueella olevan merisedimenttejä ja tämän vuoksi pisteiden kalibroinnissa päädyttiin Marine13 menetelmään. Marine13 menetelmällä kalibroituja iäkä käytettiin alueelta mallinnuksen (Kuva 6) ja rannansiirtymiskäyrän (Liite 2) tekoon. Kuitenkin nuorimmat pisteet muodostuivat melko lähellä Yoldiamerivaiheen päättymistä (Taulukko 1, Liite 1) ja alueen yhteys valtameriin alkoi olla rajallinen (Kuva 6). Tällöin valtamereltä tulleen hiilen määrä on todennäköisesti kääntynyt laskuun ja pisteiden kalibroinnissa olisi mahdollisesti kuulunut käyttää Intcal13 menetelmää. Pisteet kalibroitiin uudelleen Intcal20 menetelmällä (Stuiver et al 2020b, calib.org) ja niiden ikä kasvoi merkittävästi. Tällöin 11000 vuotta aikaikkunaa ajallisesti lähinnä olivat pisteet 40 ja 41, joiden iäksi tuli 11220 vuotta (Liite 1). Koska alueen merenpinta laski rannansiirtymiskäyrässä (Liite 2) olisi matalampi piste 41 todennäköisesti nuorempi ja sitä tulisi käyttää mallinnuksessa. Pohjois-Vänernillä päädyttiin Intcal menetelmään sillä Risberg et al. (1996) kuvaili sedimentaatioympäristöä vähäsuolaiseksi. Tällöin päädyttiin tulkintaan valtamereltä tulleen hiilen vähäisyydestä. Lisäksi Marine13 menetelmää käytettäessä usean rantapintapisteen ikä nuoreni siten, että ne eivät olisi olleet enää merivaiheesta, jolloin Marine13 menetelmän käyttö ei olisi ollut perusteltua. Marine20 menetelmällä myös kalibroitiin uudelleen 5 pistettä Skagerrakilta, joiden kohdalla Marine13 menetelmän käyttöä ei epäilty (Liite 1), käyttäen samoja arvoja kuin Marine13 menetelmässä (Liite 1). Marine13 ja Marine20 arvot poikkesivat toisistaan Intcal versioita enemmän, noin 150-200 vuotta. Tämä johtuu muutoksista CALIB-ohjelmiston uusimmassa versiossa ja vanhojen deltaR arvojen käytöstä uusien sijaan. Tällöin Marine13 iät ovat luultavasti lähempänä totuutta.

Vattimeren rannikko ei vastaa todellisuutta kartassa. Matalan meren alueilla merenpohjan korkeus oli syvyyskartassa monta metriä merenpinnan yläpuolella. Lisäksi

maa-alueet rannikon läheisyydessä ovat merenpinnan alapuolella, jolloin kartoissa rannikkoalueella maa näyttää mereltä ja meri maalta. Nämä poikkeamat selittyvät ainakin osittain EU-DEM korkeusmallin virhemarginaalilla ( $\pm 7$  metriä). Saksan luoteisrannikko on todellisuudessa matalaa aluetta ja virhemarginaaliin mahtuva poikkeama alueella on voinut saada jo ennestään matalan alueen näkymään merenpinnan alapuolella myös alueilla, jotka todellisuudessa ovat merenpinnan yläpuolella. Myös merensyvyysaineiston mukaan rannikon merialueet ovat paikoin monta metriä merenpinnan yläpuolella. Tälle poikkeamalle ei löytynyt aiheuttajaa syvyystason metadatasta, mutta poikkeama saattaa johtua esimerkiksi vuorovedestä. Yhdessä todellista matalamman rannikon kanssa lopputuloksena syntyy virheellisiä alueita, joilla merialueiden pohjan korkeus on monta metriä viereistä rannikkoa korkeammalla. Nämä virheet rajoittuvat käytännössä pelkästään Vattimerelle, eivätkä ne juuri vaikuta Kattegatin alueella, jonne mallinnus pääasiassa keskittyy.

11000 vuotta sitten karttaesityksessä olisi tullut huomoida jäätikön paksuuden vaikutus myös jäätikön reunan alueen korkeudessa, sekä ottaa se paremmin huomioon jäätikön reunaa lähellä olevissa korkeiden pisteiden apupistekäyrissä. Jäätikön paksuuskäyrien huomiointi johti Norjassa 68,2 metrin korkeudessa olleen rantapinnan isobaasin kulkuun Ruotsissa olleiden 10 ja 45 metrin korkeuksisten käyrien väliin ja lopputulos ei ollut järkevä. Maankohoamisen arvioitiin olleen koko jäätikön reunan alueella 160 metriä. Arvio tehtiin TIN-tasosta Ruotsin rannikolta Skagerrakin koillisosista, koska alueella oli saatavilla 3 pistettä suorassa linjassa. Tällöin apupistekäyrien muotoja valitessa tehtyjä virheitä ei täydy arvioida, sillä alueen TIN-käyrän korkeus tuli suoraan rantapinta-aineistosta. Valittu korkeus perustuu oletukseen, että jäätikön ja korkeimman rantapintapisteen välillä maankohoamistahdin muutos olisi sama kuin kahden korkeimman rantapintapisteen välillä. Tämä tuskin pitää paikkansa. Lisäksi korkeus olisi myös pitänyt arvioida erikseen eripuolille aluetta, esimerkiksi Vänernin itäosiin, Oslovuonoon ja Lounais-Norjaan. Lopulta tämän virheen vaikutus merenpintaan 11000 mallinnuksessa on kuitenkin todennäköisesti melko olematon sillä Norjan lounaisosat, joissa jäätikön reunan korkeus on todennäköisesti eniten väärin, ovat vuoristossa kaukana merestä. Oslovuonossa sen sijaan virhe vaikuttaa suoraan merenpinnan tasoon sillä meri ja jäätikkö kohtaavat alueella. Jäätikön reunan apupistekäyrän ja korkeimman rantapinnan apupistekäyrän välillä ei kuitenkaan ole millään alueella

poikkileikkauksissa selvää muutosta TIN-tason jyrkkyydessä, eli näiden alueiden poikkileikkauksista oltaisiin päädytty melko samankaltaisiin arvioihin.

TIN-tasojen apupisteitä olisi voinut laittaa tiheämpään varsinkin 4900 ja 11000 vuotta sitten aikaikkunoissa. 4900 vuotta sitten aikaikkunassa apupisteitä ei laitettu rantapintapisteiden väliin ja tämä johti vääristymään Jyllannin pohjoisosissa (Kuva 5). 11000 vuotta sitten mallinnukseen jäi leveä alue ilman apupistekäyrää -33,46 metrin ja -50 metrin apupistekäyrien väliin (Kuva 3). Tämä johti suuriin kolmioihin ja mahdollisiin vääristymiin.

## 6. Johtopäätökset

11000 vuotta sitten mallinnuksessa mallinnusmenetelmistä parhaan tuloksen antoi menetelmä, jossa apupistekäyriä yhdistettiin jäätikön paksuuskäyrien muotoja ja jäätikön reunamuotoja, sekä painotettiin mannerjäätikön muotoja sen reunan läheisyydessä 11000 vuotta sitten. 4900 vuotta sitten mallinnuksessa nykyisen maankohoamisen muotoja noudattavilla apupisteillä saatiin paras tulos. 7900 vuotta sitten mallinnuksessa paras tulos saatiin yhdistämällä 4900 vuotta sitten ja 11000 vuotta sitten mallinnusten lopulliset versiot ja tekemällä niiden keskiarvoista muodot apupistekäyrille.

Kattegatin ja Skagerrakin ympäristössä Norjan ja Ruotsin puoleiset osat kohoavat Tanskan puoleista osaa nopeammin ja tämä on johtanut altaan kallistumiseen, joka jatkuu yhä. Globaalin merenpinnan nousu on ollut Kattegatin etelä- ja lounaisosissa maankohoamista nopeampaa ja johtanut suhteellisen merenpinnan nousuun. Skagerrakin pohjois- ja koillisosissa maankohoaminen on ollut merenpinnan nousua nopeampaa ja johtanut suhteellisen merenpinnan laskuun.

Suurin osa Kattegatin allasta oli kuivaa maata 11000 vuotta sitten. Kattegatin saaret olivat maayhteydessä Ruotsin eteläosiin ja Jyllantiin. Vänern oli kapeassa valtameriyhteydessä ja samanaikaisesti yhteydessä myös Itämereen. Skagerrakin rannikkoalueilla suhteellinen merenpinta oli nykyistä korkeammalla ja mannerjää oli Oslovuonon alueella vielä yhteydessä valtameriin.

7900 vuotta sitten Kattegatin altaasta suurin osa oli jäänyt merenpinnan alle. Vänernin meriyhteys oli katkennut. Tanskan salmet olivat auenneet, mutta ne olivat nykyistä matalammat Juutinraumaa lukuun ottamatta. Kattegatin koillisosissa, kuten Anholtilla, suhteellinen merenpinta oli nykyistä korkeammalla ja lounaisosissa, kuten Samsøn saarella suhteellinen merenpinta oli nykyistä matalammalla.

4900 vuotta sitten suhteellinen merenpinta oli nykyistä korkeammalla koko Kattegatilla. Myös Tanskan salmet olivat nykyistä syvemmät, johtaen nykyistä suolaisempaan vaiheeseen Itämerellä. Itämeren lounaiosissa Koillis-Saksassa suhteellinen merenpinta oli nykyistä matalammalla, samoin Luoteis-Saksassa Vattimerellä.

Mallinnukset antoivat kirjallisuutta vastaavia tuloksia alueilla, joilta Itämeren altaan meriyhteys kulki. 11000 vuotta sitten Vänernin kautta kulkenut valtameriyhteys oli kaventunut ja laajin meriyhteys kulki järven lounaisosissa. 7900 vuotta sitten Vänernin meriyhteys oli katkennut ja Tanskan salmet auenneet. Tanskan salmet olivat Juutinraumaa lukuun ottamatta nykyistä matalampia ja altaan suolapitoisuus oli tuolloin nykyistä matalampi. 4900 vuotta sitten Tanskan salmet olivat nykyistä syvemmät ja tämä johti nykyistä suolaisempaan vaiheeseen Itämerellä.

Mallin tarkentamiseksi siinä tulisi huomioida sedimentaation ja eroosion vaikutus alueen syvyyteen ja korkeuteen. Sedimentaatio on esimerkiksi kerrostanut Skagen Odden alueelle yli 100 metriä sedimenttejä ja eroosio on kuluttanut mm. Læsøn saaren läheltä laajoilta alueilta yli 10 metriä ainesta eikä tätä ole huomioitu mallissa. Myös tektoniikan ja siirrosvyöhykkeiden vaikutus on huomioimatta ja tämä on voinut johtaa joillain alueilla merkittäviin vääristymiin.

Mallinnuksen tarkentamiseksi myös rantapintapisteiden määrää tulisi kasvattaa. Vähäiseen rantapinta-aineistoon perustuvassa mallinnuksessa mallinnusmenetelmien vaikutus maankohoamisen isobaaseihin korostuu ja virheiden todennäköisyys mallinnuksessa kasvaa. Rantapintapisteiden määrän kasvattaminen johtaisi tarkempaan karttaesitykseen eri aikaikkunoista.



Mallinnuksia voidaan käyttää maankäytön suunnittelussa esimerkiksi juoksusaven riskialueiden kartoittamiseen. Aikaikkunoiden rajallinen määrä ja rantapintapisteiden vähäisyydestä johtuva rajallinen tarkkuus kuitenkin vähentävät mallinnusten hyödyllisyyttä juoksusaven kartoituksessa. Mallinnusta voidaan myös käyttää esimerkiksi arkeologisia tutkimuksia suunnitellessa, sillä mallinnus antaa tietoa myös alueilta, joilta ei ole suoraan saatavilla tietoa meren korkeuksista mallinnetuissa aikaikkunoissa.

Mallinnuksessa saatiin spatiaalisesti kattavaa tietoa alueen topografiasta ja batymetriasta eri aikakausina. Menetelmää voidaan soveltaa myös muiden jäätiköityneiden alueiden mallintamiseen ja Kattegatin alueella muiden Itämeren altaan kannalta geologisesti merkittävien aikaikkunoiden selvittämiseen.

## 7. Kiitokset

Kiitokset Outi Hyttiselle aiheesta ja alkuvaiheen ohjauksesta. Kiitokset Seija Kultille ohjauksesta työn eri vaiheissa ja erikoiskiitos Mia Kotilaiselle ja Aarno Kotilaiselle työn loppuvaiheen ohjaamisesta. Kiitokset Annika Åbergille, Susanne Åbergille ja Petteri Muukkoselle avustuksesta ArcMap ohjelman käytössä. Kiitos Annika Åbergille avusta myös menetelmäosion kanssa. Kiitokset vanhemmille ja siskolle sekä avopuoliso Hanna-Kaisa Vuoliolle henkisestä tuesta.

## 8. Lähteet

- Andrén, E., Andrén, T. ja Kunzendorf, H. 2000a. Holocene history of the Baltic Sea as a background for assessing records of human impact in the sediments of Gotland Basin. *The Holocene*, 10, 687-702. DOI: 10.1191/09596830094944.
- Andrén, E., Andrén, T. ja Sohlenius, G. 2000b. The Holocene history of the southwestern Baltic Sea as reflected in a sediment core from the Bornholm Basin. *Boreas*, 29, 233-250. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2000.tb00981.x.
- Bendixen, C., Jensen, J. O., Boldreel, L.O., Clausen, O. R., Bennike, O., Seidenkrantz, M-S., Nyberg, J. ja Hübscher, C. 2017. The Holocene Great Belt connection to the southern Kattegat, Scandinavia: Ancylus Lake drainage and Early Littorina Sea transgression. *Boreas*, 46, 53-68. DOI: 10.1111/bor.12154.
- Bennike, O., Jensen, J. B., Konradi, P. B., Lemke, W. ja Heinemeier J. 2000. Early Holocene drowned lagoonal deposits from the Kattegat, southern Scandinavia. *Boreas*, 29, 272-286. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2000.tb01210.x.

- Berglund, M. 1995. Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. *Boreas*, 24, 324-344. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1995.tb00783.x.
- Berglund, M., Eriksson, J.A. ja Fernlund, J.M.R. 1994. The late Weichselian in Halland, Southwestern Sweden: A pollen-analytical study. *GFF*, 116. DOI: 10.1080/11035899409546186.
- Bergsten, H. ja Nordberg, K. 1992. Late Weichselian marine stratigraphy of the southern Kattegat, Scandinavia: evidence for drainage of the Baltic Ice Lake between 12,700 and 10,300 years BP. *Boreas*, 21, 223-252. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1992.tb00030.x.
- Bjørnsen, M., Clemmensen, L. B., Murray, A. ja Pedersen, K. 2008. New evidence of the Littorina transgressions in the Kattegat: Optically Stimulated Luminescence dating of a beach ridge system on Anholt, Denmark. *Boreas*, 37, 157-168. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2007.00008.x.
- Bowman, D., Christiansen, C. ja Magaritz, M. 1989. Late-Holocene coastal evolution in the Hanstholm-Hjardemaal region, NW Denmark, Morphology, sediments and Dating. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 89, 49-57. DOI: 10.1080/00167223.1989.10649283.
- Bungenstock, F. ja Schäfer, A. 2009. The Holocene relative sea-level curve for the tidal basin of the barrier island Langeoog, German Bight, Southern North Sea. *Global and planetary change*, 66, 34-51. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2008.07.007.
- Björk, S. 1995. A Review of the History of the Baltic Sea 13.0-8.0 ka BP. *Quaternary International*, 27, 19-40. DOI: 10.1016/1040-6182(94)00057-c.
- Björck, S., Digerfeldt, G. 1991. Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. *Boreas*, 20, 115-133. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1991.tb00301.x
- Brandes, C., Steffen H., Sandersen P.B.E., Wu P. ja Winsemann J. 2018. Glacially induced faulting along the NW segment of the Sorgenfrei-Tornquist Zone, northern Denmark: Implications for neotectonics and Lateclacial fault-bound basin formation. *Quaternary Science Reviews*, 189, 149-168. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.03.036.
- Christensen, C. ja Nielsen, A.B. 2008. Dating Littorina sea shore levels in Denmark on the basis of data from a mesolithic coastal settlement on Skagens Odde, Northern Jutland. *Polish Geological Institute Special Papers* 23, 27-38.
- Christiansen, C., Conradsen, K., Emelyanov, E., Trimonis, E., Heinemeier, J. ja Rud, N. 1993. Hydrographic changes in the southern Kattegat (Scandinavia) during the early Holocene transgression. *Boreas*, 22, 349-356. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1993.tb00198.x.
- Clemmensen, L.B., Richardt, N. ja Andersen, C. 2001. Holocene sea-level variation and spit development: data from Skagen Odde, Denmark. *The Holocene*, 11, 323-331. DOI: 10.1191/095968301667877044.
- Clemmensen, L.B., Murray, A.S. ja Nielsen, L. 2012. Quantitative constraints of sea-level fall that terminated the Littorina Sea Stage, southern Scandinavia. *Quaternary Science Reviews*, 40, 54-63. DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.03.001.
- Copernicus (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>) 2016. EU-Dem v1.1 korkeusmalli, kuvaa vuotta 2011, käytetyt alueet E40,N40 ja E40,N30. Sivulla vierailtu 15.10.2020.
- Cuzzzone, J.K., Clark, P.U., Carlson, A.E., Ullman, D.J., Rinterknecht, V.R., Milne, G.A., Lunkka, J-P., Wohlfarth, B., Marcott, S.A. ja Caffee, M. 2016. Final deglaciation of the Scandinavian Ice Sheet and implications for the Holocene global sea-level budget. *Earth and Planetary Science Letters*, 448, 34-41. DOI: 10.1016/j.epsl.2016.05.019.
- Digerfeldt, G. 1975. A standard profile for Littorina transgressions in western Skåne, South Sweden. *Boreas*, 4, 125-142. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1975.tb00685.x.

- Ekman, M. ja Mäkinen, J. 1996. Recent postglacial rebound, gravity change and mantle flow in Fennoscandia. *Geophysical Journal International*, 126, 229-234. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1996.tb05281.x.
- Emodnet Bathymetry, <https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>. 2018. Mean depth full coverage, D5 ja D6 alueet. Sivulla vierailtu 12.10.2020.
- Eronen, M., Ristaniemi, O. ja Lange, D. 1990. Analysis of a sediment core from the Mecklenberg Bay, with a discussion on the early Holocene history of the southern Baltic Sea. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 112, 1-8. DOI: 10.1080/11035899009453155.
- Fairchild, F. L. 1918. Glacial Depression and Post-Glacial Uplift of Northeastern America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4, 228-232. DOI: 10.1073/pnas.4.8.229.
- FCC. Degrees Minutes Seconds to/from Desimal Degrees. 2016. <https://www.fcc.gov/media/radio/dms-decimal>. Sivulla vierailtu 28.5.2019.
- Fjeldskaar, W. 1994 The amplitude and decay of the glacial forebulge in Fennoscandia. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 74, 2-8.
- Fuchs, M., Kreutzer, S., Fischer, M., Sauer, D. ja Sørensen, R. 2012. OSL and IRSL dating of raised beach sand deposits along the southeastern coast of Norway. *Quaternary Geochronology*, 10, 195-200. DOI: 10.1016/j.quageo.2011.11.009.
- Gabrielsen, G. 1959. A Marine Transgression of Boreal Age in the Southernmost Part of Norway. *Nature*, 183, 1616-1617. DOI: 10.1038/1831616a0.
- GADM, [https://gadm.org/download\\_country\\_v3.html](https://gadm.org/download_country_v3.html). 2018. Valtioiden muodot, shapefile versio 3.6. Norjan gadm36\_Nor\_0, Tanskan gadm36\_DNK\_0, Saksan gadm36\_DEU\_0, Ruotsin gadm36\_SWE\_0 ja Puolan gadm\_POL\_0. Sivulla vierailtu 9.10.2020.
- Geertsema, M. 2018 Quick clay. Teoksessa Bobrowsky P.T., Marker B (toim.) *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham, 739-741.
- Gravesen, P., Pedersen, S. A. S., Nilsson, B. ja Binderup, M. 2017. An assessment of Palaeogene and Neogene clay deposits in Denmark as possible host rocks for final disposal of low- and intermediate-level radioactive waste. *Geological Society, London, Special Publications*, 443, 29-38. DOI: 10.1144/SP443.3.
- Gregersen, S. ja Voss, P.H. 2012. Review of Survey activities 2011: Efforts to include geological and geodetic observation in the assessment of earthquake activity in Denmark. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 26, 41-44.
- Gregersen, S. ja Voss, P.H. 2014. Review of some significant claimed irregularities in Scandinavian postglacial uplift on timescales of tens to thousands of years – earthquakes in Denmark? *Solid Earth*, 5, 109-118. DOI: 10.5194/se-5-109-2014.
- Gyllencreutz, R. 2005. Late Glacial and Holocene paleoceanography in the Skagerrak from high-resolution grain size records. *Paleoecology*, 222, 344-369. DOI: 10.1016/j.palaeo.2005.03.025.
- Gyllencreutz, R. ja Kissel, C. 2006. Lateglacial and Holocene sediment sources and transport patterns in the Skagerrak interpreted from high-resolution magnetic properties and grain size data. *Quaternary Science Reviews*, 25, 1247-1263. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.11.002.
- Habib, M., Alzubi, Y., Malkawi, A. ja Awwad, M. 2020. Impact of interpolation techniques on the accuracy of large-scale digital elevation model. *Open Geosciences*, 12, 190-202. DOI: 10.1515/geo-2020-0012.

- Hansen, J. M., Aagaard, T. ja Binderup, M. 2012. Absolute sea levels and isostatic changes of the eastern North Sea to central Baltic region during the last 900 years. *Boreas*, 41, 180-208. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2011.00229.x.
- Hansen, J. M., Aagaard, T., Stockmarr, J., Møller, I., Nielsen, L., Binderup, M., Larsen, J. H. ja Larsen, B. 2016. Continuous record of Holocene sea-level changes and coastal development of the Kattegat island Læsø (4900 years BP to present). *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 64, 1-55.
- Hansson, A., Hammarlund, D., Landeschi, G., Sjöström, A. ja Nilsson, B. 2019. A new early Holocene shoreline displacement record for Blekinge, southern Sweden, and implications for underwater archeology. *Boreas*, 48, 57-71. DOI: 10.1111/bor.12339.
- Harff, J., Lemke, W., Lampe, R., Lüth, F., Lübke, H., Meyer, M., Tauber, F. ja Schmölcke, U. 2007. The Baltic Sea coast – A coast of interrelations among geosphere, climate and antroposphere. *Special Paper of the Geological Society of America*, 425, 1-10. DOI: 10.1130/2007.2426(09).
- Hede, S.U. 2003. Prehistoric settlements and Holocene relative sea-level changes in north-west Sjælland, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 50, 141-149.
- Hede, M. U., Sander, L., Clemmensen, L. B., Kroon, A., Pejrup, M. ja Nielsen, L. 2015. Chances in Holocene relative sea-level and coastal morphology: A study of a raised beach ridge system on Samsø, southwestern Scandinavia. *The Holocene*, 25, 1402-1414. DOI: 10.1177/0959683615585834.
- Hughes, A.L.C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø.S., Mangerud, J. ja Svendsen, J.I. 2015. DATED-1: compilation of dates and timeslice reconstruction of the build-up and retreat of the last Eurasian (British-Irish, Scandinavian, Svalbard-Barents-Kara Seas) icesheets 40-10 ka. <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.848117>. Käytetty tasot TS11\_mc, TS16\_mc ja TS22\_mc. Sivulla vierailtu 25.9.2020.
- Hughes, A.L.C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø.S., Mangerud, J. ja Svendsen, J.I. 2016. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, Dated-1. *Boreas*, 45, 1-45. DOI: 10.1111/bor.12142.
- Humlum, O. ja Houmark-Nielsen, M. 1994. High Deglaciation Rates in Denmark During the Late Weichselian —Implications for the Palaeoenvironment. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 94, 26-37. DOI: 10.1080/00167223.1994.10649349.
- Hyttinen, O., Quintana Krupinski, N., Bennike, O., Wacker, L., Filipsson, H., Obrochta, S., Jensen, J.B., Lougheed, B., Ryabchuck, D., Passchier, S., Snowball, I., Herrero-Bervera, E., Andrén, T. ja Kotilainen, A.T. In press. Deglaciation dynamics of the Fennoscandian Ice sheet in the Kattegat, the gateway between North Sea and Baltic Sea Basin. *Boreas*.
- Häusler, K., Moros, M., Wacker, L., Hammerschmidt, L., Dellwig, O., Leipe, T., Kotilainen, A. ja Arz, H.W. 2017. Mid- to late Holocene environmental separation of the northern and central Baltic Sea basins in response to differential land uplift. *Boreas*, 46, 111-128. DOI: 10.1111/bor.12198.
- Jensen, C., Chistensen, C. ja Nielsen, B. H. 2019. Postglacial relative sea-level rise in the Limfjord region, Northern Jutland, Denmark. *Boreas*, 48, 119-130. DOI: 10.1111/bor.12350.
- Jensen, J.B., Bennike, O., Witkowski, A., Lemke, W. ja Kuijpers, A. 1999. Early Holocene history of the southwestern Baltic Sea: the Ancylus Lake stage. *Boreas*, 28, 437-453. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1999.tb00233.x.
- Jensen, J.B., Petersen, K. S., Konradi, P., Kuijpers, A., Bennike, O., Lemke, W. ja Endler, R. 2002. Neotectonics, sea-level changes and biological evolution in the Fennoscandian Border Zone of the southern Kattegat Sea. *Jensen et al. 2002 Boreas*, 31, 133-150. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2002.tb01062.x.

- Jiang, H., Björk, S. ja Svensson, N-O. 1998. Reconstruction of Holocene sea-surface salinity in the Skagerrak-Kattegat: a climatic and environmental record of Scandinavia. *Journal of Quaternary Science*, 13, 107-114. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1417(199803/04)13:2<107::AID-JQS336>3.3.CO2-R.
- Johnson, P. 1994. The role of hydro-isostasy for Holocene sea-level changes in the British Isles. *Marine Geology*, 124, 61-70. DOI: 10.1016/0025-3227(95)00032-T.
- Joud, M.S.S., Sjöberg, L.E. ja Bagherbandi, M. 2017. Use of GRACE data to detect the present land uplift rate in Fennoscandia. *Geophysical Journal international*, 209, 909-922. DOI: 10.1093/gji/ggx063.
- Knudsen, K.L. 1994. The marine Quaternary in Denmark: a review of new evidence from glacial-interglacial studies. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 41, 203-218.
- Knudsen, K.L., Conradsen, K., Heier-Nielsen, S. ja Seidenkrantz, M-S. 1996. Palaeoenvironments in the Skagerrak-Kattegat basin in the eastern North Sea during the last deglaciation. *Boreas*, 25, 65-77. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1996.tb00836.x.
- Kotthoff, U., Groeneveld, J., Ash, J.L., Fanget, A-S., Krupinski, N.Q., Peyron, O., Stepanova, A., Warnock, J., Van Helmond, N.A.G.M., Passey, B.H., Clausen, O.R., Bennike, O., Andrén, E., Granaszewski, W., Andrén, T., Filipsson, H.L., Seidenkrantz, M-S., Slomp, C.P. ja Bauersachs, T. 2017. Reconstructing Holocene temperature and salinity variations in the western Baltic Sea region: a multi-proxy comparison from the Little-Belt (IODP Expedition, Site M0059). *Biogeosciences*, 14, 5607-5632. DOI: 10.5194/bg-14-5607-2017.
- Lambeck, K. 1999. Shoreline displacements in southern-central Sweden and the evolution of the Baltic Sea since the last maximum glaciation. *Journal of the Geological Society*, 156, 465-486. DOI: 10.1144/gsjgs.156.3.0465.
- Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y. ja Sambridge, M. 2014. Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *PNAS*, 111, 15296-15303. DOI: 10.1073/pnas.1411762111.
- Lampe, R., Endtmann, E., Janke, W., Meyer, H., Lübke H., Harff, J. ja Lemke, W. 2005. A new relative sea-level curve for the Wismar-Bay, N-German Baltic Coast. *Meyniana*, 57, 5-35.
- Leverington, D.W., Teller, J.T. ja Mann, J.D. 2002. A GIS method for reconstruction of the late Quaternary landscapes from isobase data and modern topography. *Computers & Geosciences*, 28, 631-639. DOI: 10.1016/S0098-3004(01)00097-8.
- Lidberg, M., Johansson, J.M., Scherneck, H-G. ja Davis, J.L. 2007. An improved and extended GPS-derived 3D velocity field of the glacial isostatic adjustment (GIA) in Fennoscandia. *Journal of Geodesy*, 81, 213-230. DOI: 10.1007/s00190-006-0102-4.
- Lundqvist, J. 1995. The Younger Dryas Ice-Marginal Zone in Sweden. *Quaternary International*, 29, 171-176. DOI: 10.1016/1040-6182(95)00032-E.
- Lübke, H. 2002. Submarine Stone Age settlements as indicators of sea-level changes and the coastal evolution of Wismar Bay area. *Greifswalder Geographische Arbeiten*, 27, 203-211.
- Mann, J.D., Leverington, D.W., Rayburn, J. ja Teller, J.T. 1999. The volume and paleobathymetry of Lake Agassiz. *Journal of Paleolimnology*, 22, 71-80. DOI: 10.1023/A:1008090015161.
- Morgensen, T. E. ja Korstgård, J. A. 2003. Jurassic and Triassic transtension along part of the Sorgenfrei-Tornquist Zone in the Danish Kattegat. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, 1, 437-458.
- Mörner, N-A. 1976. Eustatic changes during the last 8,000 years in view of radiocarbon calibration and new information from the Kattegatt region and other northwestern European coastal areas. *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*, 19, 63-85. DOI: 10.1016/0031-0182(76)90042-0.

- Mörner, N.-A. 1978. Faulting, fracturing, and seismicity as functions of glacio-isostasy in Fennoscandia. *Geology*, 6, 41-45. DOI: 10.1130/0091-7613(1978)6<41:FFASAF>2.0.CO2.
- Nielsen, L. H. ja Johannessen, P. N. 2009. Facies architecture and depositional processes of the Holocene-Recent accretionary forced regressive Skagen spit system, Denmark. *Sedimentology*, 56, 935-968. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2008.01007.x.
- Nydal, R. 1962. Trondheim Natural Radiocarbon Measurements III. *Radiocarbon*, 4, 160-182. DOI: 10.1017/S0033822200036614.
- Ojala, A.E.K., Palmu, J-P., Åberg, A., Åberg, S. ja Virkki, H. Development of an ancient shoreline database to reconstruct the Littorina Sea maximum extension and the highest shoreline of the Baltic Sea basin in Finland. *Bulletin of the Geological society of Finland*, 85, 127-144. DOI: 10.17741/bgsf/85.2.002.
- Peltier, W. R. ja Fairbanks, R. G. 2006. Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3322-3337. DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.04.010.
- Petersen, K.S. 1991. Holocene coastal and faunal development of the Skagen Odde, Northern Jutland, Denmark. *Quaternary International*, 9, 53-60. DOI: 10.1016/1040-6182(91)90063-T.
- Prøsch-Danielsen, L. 1997. New light on the Holocene shore displacement curve on Lista, the southernmost part of Norway. *Norwegian Journal of Geography*, 51, 83-101. DOI: 10.1080/00291959708552368.
- Risberg, J., Sangren, P. ja Andrén, E. 1996. Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of lake Vänern, western Sweden. *Journal of Paleolimnology*, 15, 47-63.
- Romundset, A., Lakeman, T. R. ja Høgaas, F. 2018. Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. *Quaternary Science Reviews*, 197, 175-192. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.07.041.
- Rößler, D., Moros, M. ja Lemke, W. 2011. The Littorina transgression in the southwestern Baltic Sea: new insights based on proxy methods and radiocarbon dating of sediment cores. *Boreas*, 40, 231-241. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2010.00180.x.
- Sander, L., Fruergaard, M., Koch, J., Johannessen, P.N. ja Pejrup, M. 2015. Sedimentary indications and absolute chronology of Holocene relative sea-level changes retrieved from coastal lagoon deposits on Samsø, Denmark. *Boreas*, 44, 706-720. DOI: 10.1111/bor.12124.
- Sangren, P. ja Snowball, I. 2001. The Late Weichselian sea level history of the Kullen Peninsula in Northwestern Skåne, Southern Sweden. *Boreas*, 30, 115-130. DOI: 10.1080/03009480120569.
- Schmitt, L. 2013. Directly Dating an Archeological Site on a Raised Beach in Coastal Sweden. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 8, 436-442. DOI: 10.1080/15564894.2013.809828.
- Schröder, N. 2015. The Kattegat Island of Anholt: Sea-level Changes and Groundwater Formation on an Island. *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies*, 14, 30-49.
- Sharma, V. P., 1984. The Fennoscandian uplift and glacial isostasy. *Tectonophysics*, 105, 249-262. DOI: 10.1016/0040-1951(84)90206-3.
- Steffen, H ja Kaufmann, G. 2005. Glacial isostatic adjustment of Scandinavia and northwestern Europe and the radial viscosity structure of Earth's mantle. *Geophysical Journal International*, 163, 801-812. DOI: 10.1111/j.1365-246x.2005.02740.x.
- Steffen, H. ja Wu, P. 2011. Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia—A review of data and modeling. *Journal of Geodynamics*, 52, 169-204. DOI: 10.1016/j.jog.2011.03.002.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. ja Reimer, R.W. 2019. <http://calib.org>. CALIB 7.04 kalibointiohjelman Sivulla vierailtu 20.11.2019.

- Stuiver, M., Reimer, P.J. ja Reimer, R.W. 2020a. <http://calib.org>. CALIB 7.1 kalibrointiohjelma. Sivulla vierailtu 13.5.2020.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. ja Reimer, R.W. 2020b. <http://calib.org>. CALIB 8.2 kalibrointiohjelma. Sivulla vierailtu 24.11.2020.
- Vink, A., Steffen, H., Reinhardt, L. ja Kaufmann, G. 2007. Holocene relative sea-level change, isostatic subsidence and the radial viscosity structure of the mantle of northwestern Europe (Belgium, the Netherlands, Germany southern North Sea). *Quaternary Science Reviews*, 26, 3249-3275. DOI: 10.1016/j.quascirev.2007.07.014.
- Warnock, J., Andrén, E., Juggins, S., Lewis, J., Ryves, D.B., Andrén, T ja Weckström, K. 2019. A high-resolution diatom-based Middle and Late Holocene environmental history of the Little-Belt region, Baltic Sea. *Boreas*, 49, 1-16. DOI: 10.1111/bor.12419.
- Widerlund, A. ja Andersson, P.S. 2011. Late Holocene freshening of the Baltic Sea derived from high resolution strontium isotope analyses of mollusc shells. *Geology*, 39, 187-190. DOI: 10.1130/G31524.1.
- Witkowski, A., Broszinski, A., Bennike, Ole., Janczak-Kostecka, B., Bo Jensen, J., Lemke, W., Endler, R. ja Kuijpers, A. 2005. Darss Sill as a biological border in the fossil record of the Baltic Sea: evidence from diatoms. *Quaternary international*, 130, 97-109. DOI: 10.1016/j.quaint.2004.04.035.
- Witkowski, A., Cedro, B., Kierzek, A. ja Baranowski, D. 2009. Diatoms as proxy in reconstructing the Holocene environmental changes in the south-western Baltic Sea: the lower Rega River Valley sedimentary record. *Hydrobiologia*, 631, 155-172. DOI: 10.1007/s10750-009-9808-7.
- Åberg, A. 2013. Itämeren ylin ranta Suomessa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian osasto. 84 sivua.
- Åberg, S. 2013. Litorinameren korkein ranta Suomessa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Geologian osasto. 79 sivua.

## 9. Liitteet

### Liite 1. Kattavampi taulukko

Taulukossa on esitetty rantapintapisteiden numero, nimi, koordinaatit ja koordinaattityyppi, korkeus, muodostumatyytit, laboratorionumero, alkuperäinen ikä, mallinuksissa käytetty ikä, uudelleen kalibroitu ikä, ajoitusmenetelmä, kalibroitimenetelmä, lisätietoja ja lähde. Kalibroiduissa pisteissä on käytetty värikoodia. Iät sinisellä pohjalla on kalibroitu Marine13 menetelmässä ”käytetyt iät” kohdassa ja Marine20 menetelmällä ”uudelleen kalibroitu ikä” kohdassa. Iät oranssilla pohjalla on kalibroitu Intcal13 menetelmällä ”käytetyt iät” kohdassa ja Intcal20 menetelmällä ”uudelleen kalibroitu ikä” kohdassa.

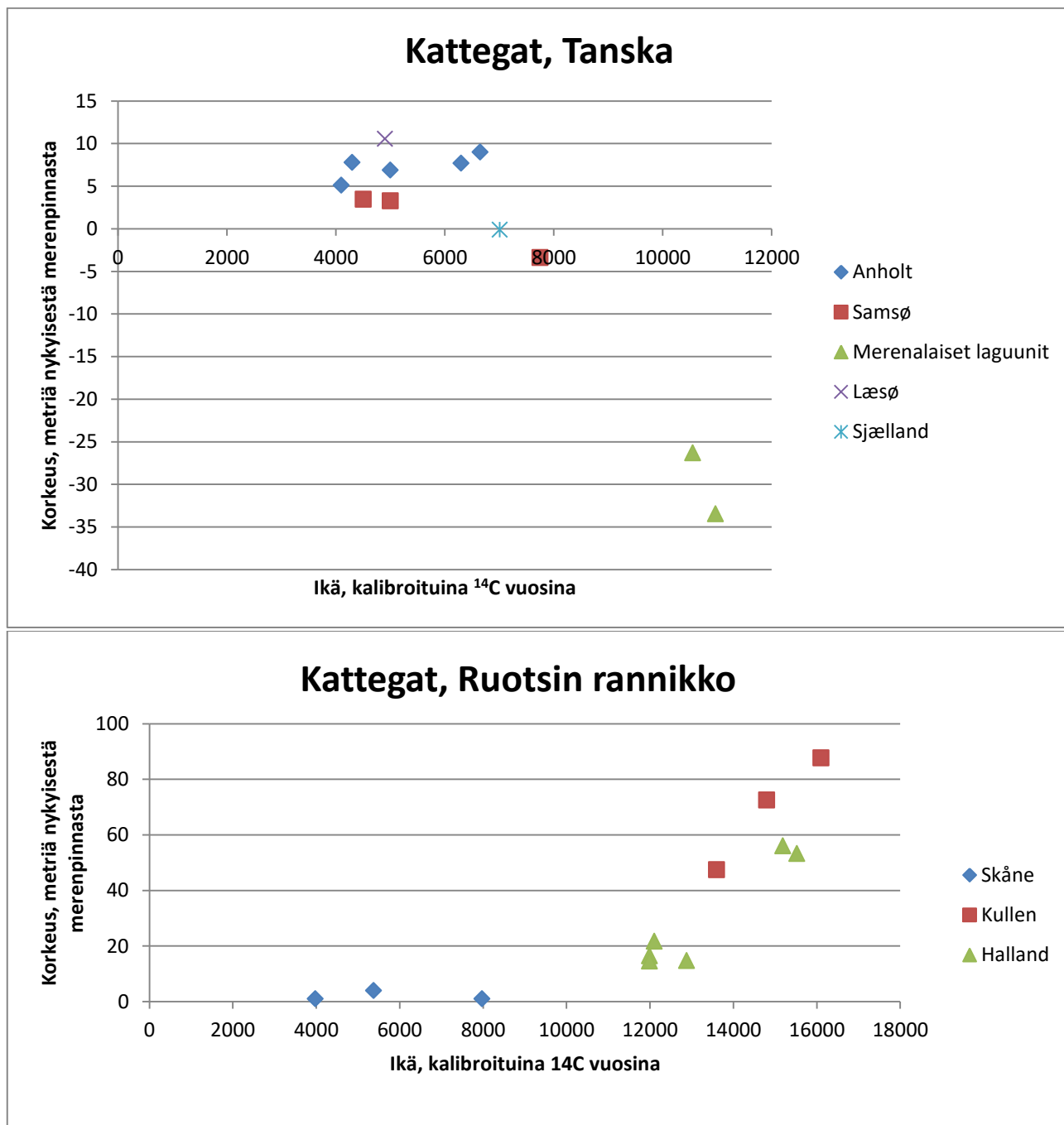


	Nimi	x	y	z	koordinaattityyppi	muodostuma tyyppi	Laboratorionumero	ikä artikkelissa	Käytetty ikä	Uudelleenkalibroitu ikä	Menetelmä	Lisätietoa	Lähde	kalibrointimenetelmä	peruste	
1	Orust 1, Länsi-Ruotsi	11°32'01"E	58°07'11"N	60 metriä	WGS 84	Pintamoreeni, jossa aallokon aiheuttamia jälkiä	puuttuu	11900 BP	11900		Kalibroitu 14C.	Samalla ikä transgressiomaksimille alueella. Koordinaatit puuttuivat artikkelista, arvioitu kartan avulla. Arkeologinen artikkeli.	Directly Dating an Archeological Site on a Raised Beach in Coastal Sweden, Schmitt 2013. The Journal of Island and Coastal Archaeology Vol 8 s 436-442.			
2	Orust 2, Länsi-Ruotsi	11°32'01"E	58°07'11"N	55,75 metriä	WGS 84	Pintamoreeni, jossa aallokon aiheuttamia jälkiä	puuttuu	11600-11500 BP	11600		Arvioitu 55,75 metriä - 47,5 metriä ikä 11600-11100	Ikä arvioitu transgressiomaksimin ja merenpinnan laskunopeuden avulla. Koordinaatit puuttuivat artikkelista, arvioitu kartan avulla. Arkeologinen artikkeli.	Directly Dating an Archeological Site on a Raised Beach in Coastal Sweden, Schmitt 2013. The Journal of Island and Coastal Archaeology Vol 8 s 436-442.			
3	Orust 3, Länsi-Ruotsi	11°32'01"E	58°07'11"N	47,5 metriä	WGS 84	Pintamoreeni, jossa aallokon aiheuttamia jälkiä	puuttuu	11100 BP	11100		Arvioitu 55,75 metriä - 47,5 metriä ikä 11600-11100	Ikä arvioitu transgressiomaksimin ja merenpinnan laskunopeuden avulla. Koordinaatit puuttuivat artikkelista, arvioitu kartan avulla. Arkeologinen artikkeli.	Directly Dating an Archeological Site on a Raised Beach in Coastal Sweden, Schmitt 2013. The Journal of Island and Coastal Archaeology Vol 8 s 436-442.			
4	Anholt 1, Kattegat (saari)	11°32'35"E	56°42'57"N	9 metriä	WGS 84	Rantavalli	puuttuu	6650 BP	6650		OSL	Saaren muodostumisen aikaan merenpinta laski 7-8 metriä. Z-koordinaattina rantavallin korkeudesta arvioitu meren korkeus 7700 vuotta sitten , ei suoraan rantavallin korkeus. Koordinaatit keskeltä saarta, puuttuivat artikkelista.	New evidence of the Littorina transgressions in the Kattegat: Optically Stimulated Luminescence dating of a beach ridge system on Anholt, Denmark. Bjørnsen et al. 2008. Boreas Vol 37 s 157-168.			
5	Anholt 2, Kattegat (saari)	11°32'35"E	56°42'57"N	7,7 metriä	WGS 84	Rantavalli		84701 6300 +/- 400 BP	6300		OSL	Näyte otettu aaltojen kerrostamasta hiekestä rantavallin juurella. Kerrostusaisakana meren korkeudeksi alueella arvioitu 7,7 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella.	Quantitative constraints on the sea-level fall that terminated the Littorina Sea Stage, southern Scandinavia. Clemmensen et al. 2012. Quaternary science reviews. Vol 40 sivut 54-63.			
6	Anholt 3, Kattegat (saari)	11°32'35"E	56°42'57"N	6,9 metriä	WGS 84	Rantavalli			5000 +/- 300 BP	5000	OSL	Näyte otettu aaltojen kerrostamasta hiekestä rantavallin juurella. Kerrostusaisakana meren pinnan korkeus oli laskussa ja laski 4300-3600 vuotta sitten 7,8 metristä 4,3 metrin nykyisen merenpinnan yläpuolelle.	Quantitative constraints on the sea-level fall that terminated the Littorina Sea Stage, southern Scandinavia. Clemmensen et al. 2012. Quaternary science reviews. Vol 40 sivut 54-63.			
7	Anholt 4, Kattegat (saari)	11°32'35"E	56°42'57"N	7,8 metriä	WGS 84	Rantavalli			4300 +/- 170 BP	4300	OSL	Näyte otettu aaltojen kerrostamasta hiekestä rantavallin juurella. Kerrostusaisakana meren pinnan korkeus oli laskussa ja laski 4300-3600 vuotta sitten 7,8 metristä 4,3 metrin nykyisen merenpinnan yläpuolelle.	Quantitative constraints on the sea-level fall that terminated the Littorina Sea Stage, southern Scandinavia. Clemmensen et al. 2012. Quaternary science reviews. Vol 40 sivut 54-63.			
8	Anholt 5, Kattegat (saari)	11°32'35"E	56°42'57"N	5,1 metriä	WGS 84	Rantavalli		104719 4100 +/- 200 BP	4100		OSL	Korkeutta ei mainita suoraan artikkelissa, arvioitu artikkelin korkeuskäyrästä.	Quantitative constraints on the sea-level fall that terminated the Littorina Sea Stage, southern Scandinavia. Clemmensen et al. 2012. Quaternary science reviews. Vol 40 sivut 54-63.			
9	Lista, Etelä-Norja	6°34'29"E	58°06'38"N	1,475 metriä	WGS 84	Siltinen turve, jossa jäänteitä pilveistä	TUa-717	7330 BP +/-70 kalibroimat, 8155-8005 BP kalibroitu 14C	8080		Biostratigrafinen muutos pilveissä, ajoitettu 14C menetelmällä.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista.	New light on the Holocene shore displacement curve on Lista, the southernmost part of Norway, Prøsch-Danielsen L., 1997. Norsk geografisk tidsskrift Vol 51 s 83.			
10	Hartmarkfjord 1	7°38' N	58°02' E	2 metriä	WGS 84	Suosedimenttejä kahden merisedimentti kerroksen välissä.	puuttuu	9410 +/- 220 BP	10000		9835	14C ikä kalibroimat.	2 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella olevan kivikynnyksen suojaama syväntä. Ajoitus suosedimenttien alusta. Ajoitus merenpinnan regressiolle kivikynnyksen alle.	A Marine Transgression of Boreal Age in the Southernmost Part of Norway, Gabrielsen 1959. Nature Vol 183 sivut 1616-1617.	Marine	Kuroutui suoraan skagerrakista
11	Hartmarkfjord 2	7°38' N	58°02' E	2 metriä	WGS 84	Suosedimenttejä kahden merisedimentti kerroksen välissä.	puuttuu	8770 +/- 100 BP	9232		9037	14C ikä kalibroimat.	2 metriä nykyisen merenpinnan yläpuolella olevan kivikynnyksen suojaama syväntä. Ajoitus merenpinnan transgressiolle kivikynnyksen yli. Ajoitus suosedimenttien lopusta.	A Marine Transgression of Boreal Age in the Southernmost Part of Norway, Gabrielsen 1959. Nature Vol 183 sivut 1616-1617.	Marine	Kuroutui suoraan skagerrakista
12	Vaage	7°04' N	57°59' E	0,5 metriä	WGS 84	Suosedimenttien päällä olevien merisedimenttien raja.	T-208	7950 +/- 150 BP	8232		8059	14C ikä kalibroimat.	Allas jonka rajaa merestä 0,5 metriä merenpinnan yläpuolella oleva kivikynnys. Ajoitus merenpinnan transgressiolle kivikynnyksen yli.	Trondheim Natural Radiocarbon Measurements III. Nydal 1962. Radiocarbon vol 4 si 160-182.	Marine	Kuroutui suoraan skagerrakista
13	Hjardemaal 1 (Kynnäs)	8°46'16" E	57°03'22" N	4,2 metriä	WGS 84	Osteripitoisen soran muodostama kynnäs. Muodostunut rantajyrkänteiden (headland) materiaalista.	RT 823 B	4630 +/- 128 BP	4620		4426	artikkelissa 14C kalibroimat, kalibroitu itse marine 13	Koordinaatit artikkelista.	Late-holocene coastal evolution in the Hanstholm-Hjardemaal region, NW Denmark, Morphology, sediments and dating. Bowman et al. 1989. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography Vol 89 sivut 49-57.	Marine	Osterin kuori
14	Hjardemaal 2 (Kynnäs)	8°42'23" E	57°03'53" N	6,5 metriä	WGS 84	Osteripitoisen soran muodostama kynnäs. Muodostunut rantajyrkänteiden (headland) materiaalista.	RT 823 C	4696 +/- 111 BP	4698		4514	artikkelissa 14C kalibroimat, kalibroitu itse marine 14	Koordinaatit artikkelista.	Late-holocene coastal evolution in the Hanstholm-Hjardemaal region, NW Denmark, Morphology, sediments and dating. Bowman et al. 1989. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography Vol 89 sivut 49-57.	Marine	Osterin kuori
15	Samsø, Kattegat (saari)	10°35'35.5"E	55°55'44.4"N	3,29 metriä	WGS 84	Rantavalli. Vanhin rantavalli rantavallimuodostumassa alueella, muodostunut regression yhteydessä.		114720 5000 +/- 400 BP	5000		OSL	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista. Alueella rantavalleja nykypäivään saakka.	Changes in Holocene relative sea-level and coastal morphology: A study of a raised beach ridge system on Samsø, southwest Scandinavia. Hede et al. 2015. The Holocene Vol 25 sivut 1402-1414.			
16	Samsø, Kattegat (saari)	10°35'35.5"E	55°55'44.4"N	3,45 metriä	WGS 84	Rantavalli. Kuuluu vanhimpiin rantavallimuodostumiin alueella.		114721 4500 +/- 300 BP	4500		OSL	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista. Alueella rantavalleja nykypäivään saakka.	Changes in Holocene relative sea-level and coastal morphology: A study of a raised beach ridge system on Samsø, southwest Scandinavia. Hede et al. 2015. The Holocene Vol 25 sivut 1402-1414.			
17	Samsø, Kattegat (saari)	10°37'10"E	55°53'11"N	3,37 metriä merenpinnan alla	WGS 84	Meren transgression hukuttaman puun oksa, in situ.	SM68 75 cm	7830-7670 BP	7750			Kalibroitu 14C	Koordinaatit puuttuivat artikkelista, arvioitu artikkelin kartan avulla karkeasti.	Sedimentary indications and absolute chronology of Holocene relative sea-level changes retrieved from coastal lagoon deposits on Samsø, Denmark. Sander et al. 2015. Boreas Vol 44 sivut 706-720.		
18	Kattegat laguuni 1	11°36'53" E	56°23'14" N	26,25 - 26,38 metriä merenpinnan alla	WGS 84	Rantalaguuni joka jäi merenpinnan alle Kattegatin alueen transgression yhteydessä. Sijaitsee Anholtista etelään. Transgression yhteydessä alueelle muodostunut lajittumaton sedimenttiaines.	AAR-3041	10670-10430 BP	10550			Merieläinten kuorista mitattu kalibroitu 14C , reservoir effect huomioitu.	Koordinaatit suoraan artikkelista. lämmäritys transgressiotason päälle muodostuneelle sedimenttiainekselle, ei suoraan tasolle.	Early Holocene drowned lagoonal deposits from the Kattegat, southern Scandinavia. Bennike et al. 2000. Boreas Vol 29 sivut 272-286.		
19	Kattegat laguuni 2	11°39'36" E	56°27'44" N	33,42 - 33,50 metriä merenpinnan alla	WGS 84	Rantalaguuni joka jäi merenpinnan alle Kattegatin alueen transgression yhteydessä. Sijaitsee Anholtista etelään. Ajoitetun kerrostuman päälle on muodostunut transgression yhteydessä lajituttamaton sedimenttiaines.	AAR-4535	11180-10760 BP	10970			Merieläinten kuorista mitattu kalibroitu 14C , reservoir effect huomioitu.	Koordinaatit suoraan artikkelista. lämmäritys transgressiotason alle muodostuneelle sedimenttiainekselle, ei suoraan tasolle.	Early Holocene drowned lagoonal deposits from the Kattegat, southern Scandinavia. Bennike et al. 2000. Boreas Vol 29 sivut 272-286.		
20	Kullatorpsjön (Järvi)	12°29'30" E	56°17'48" N	87,7 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	Noin 16100 BP	16100			Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Z koordinaatti järven korkeus merenpinnasta.	The Late Weichselian sea level history of the Kullen Peninsula in northwest Skåne, southern Sweden. Sandgren & Snowball 2001. Boreas Vol 30 sivut 115-130.		
21	Björkerös mosse (Järvi)	12°31'30" E	56°16'54" N	70-75 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	Noin 14800 BP	14800			Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Z koordinaatti järven korkeus merenpinnasta.	The Late Weichselian sea level history of the Kullen Peninsula in northwest Skåne, southern Sweden. Sandgren & Snowball 2001. Boreas Vol 30 sivut 115-130.		
22	Arilds mosse (Järvi)	12°33'48" E	56°16'50" N	45-50 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	Noin 13600 BP	13600			Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Z koordinaatti järven korkeus merenpinnasta.	The Late Weichselian sea level history of the Kullen Peninsula in northwest Skåne, southern Sweden. Sandgren & Snowball 2001. Boreas Vol 30 sivut 115-130.		
23	Igläsjö mossen (Järvi)	13217.0 E	62985.8 N	56 metriä	RT90	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	(?)12.757 BP	15187		15211	Kuroutumisen aikaisen sitelöypn korrelointi läheiseen järveen.	Koordinaatit artikkelista (RT 90 muodossa, ruotsin kansallinen koordinaatio)	Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. Berglund 1995. Boreas Vol 24 sivut 324-344.	Intcal	Reservoir effect jo huomioitu
24	Store Mosse (Järvi)	12945.8 E	63343.8 N	21,7 metriä	RT90	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	10300 +/- 100 BP	12104		12114	Merieläinten kuorista korjattu 14C, reservoir effect huomioitu. 14C kasvinjäänteistä. Kalibroimat ?	Koordinaatit artikkelista (RT 90 muodossa, ruotsin kansallinen koordinaatio)	Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. Berglund 1995. Boreas Vol 24 sivut 324-344.	Intcal	Reservoir effect jo huomioitu
25	Undarsmossen (Järvi)	13076.8 E	63011.5 N	16-17 metriä	RT90	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	10250 +/- 100 BP	11992		11997	Kuroutumisen aikaisen sitelöypn korrelointi läheiseen järveen.	Koordinaatit artikkelista (RT 90 muodossa, ruotsin kansallinen koordinaatio)	Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. Berglund 1995. Boreas Vol 24 sivut 324-344.	Intcal	Reservoir effect jo huomioitu
26	Björsmossen (Järvi)	12969.2 E	63241.1 N	14,6 metriä	RT90	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	10250 +/- 100 BP	11992		11997	Kuroutumisen aikaisen sitelöypn korrelointi läheiseen järveen.	Koordinaatit artikkelista (RT 90 muodossa, ruotsin kansallinen koordinaatio)	Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. Berglund 1995. Boreas Vol 24 sivut 324-344.	Intcal	Reservoir effect jo huomioitu
27	Laeso, Kattegat (saari)	10°59'30.8"E	57°17'28.0"N	10,55 metriä	WGS 84	Saaren vanhin kohta osana kynnästä. Saarella on myös mm. rantavallimuodostumia joiden iät ovat nuorempia ja jotka jatkuvat nykypäivään saakka. (Saari oli kuivalla maalla myös ennen litorina transgressiota noin 6300-5700 asti.)	puuttuu	noin 4900 BP	4900		OSL	Koordinaatit artikkelista.	Continuous record of Holocene sea-level changes and coastal development of the Kattegat island Laeso (4900 years BP to present). Hansen et al. 2016.Bulletin of the Geological Society of Denmark = Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening Vol 64 sivut 1-55.			
28	Skagen Odde (Kynnäs) 1	10°23'26" E	57°37'53" N	14 metriä	WGS 84	Kynnäs, jonka rannoille on kertynyt turvetta sen kohotessa merenpinnan yläpuolelle. Alueelta monta ajoitettua rantapintaa välillä noin 5600-1400 BP.	99-01	5637 BP	5637			Turpeesta tehty kalibroitu 14C ajoitus.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista.	Holocene sea-level variation and spit development: data from Skagen Odde, Denmark. Clemmensen et al. 2001. The Holocene Vol 11 sivut 323-331.		
29	Skagen Odde (Kynnäs) 2	10°23'26" E	57°37'53" N	11,8 metriä	WGS 84	Kynnäs, jonka rannoille on kertynyt turvetta sen kohotessa merenpinnan yläpuolelle. Alueelta monta ajoitettua rantapintaa välillä noin 5600-1400 BP.	99-17	5004 BP	5004			Turpeesta tehty kalibroitu 14C ajoitus.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista.	Holocene sea-level variation and spit development: data from Skagen Odde, Denmark. Clemmensen et al. 2001. The Holocene Vol 11 sivut 323-331.		
30	Skagen Odde (Kynnäs) 3	10°23'26" E	57°37'53" N	9,4 metriä	WGS 84	Kynnäs, jonka rannoille on kertynyt turvetta sen kohotessa merenpinnan yläpuolelle. Alueelta monta ajoitettua rantapintaa välillä noin 5600-1400 BP.	99-33	4520 BP	4520			Turpeesta tehty kalibroitu 14C ajoitus.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista.	Holocene sea-level variation and spit development: data from Skagen Odde, Denmark. Clemmensen et al. 2001. The Holocene Vol 11 sivut 323-331.		
31	Skagen Odde (Kynnäs) 4	10°23'26" E	57°37'53" N	6,9 metriä	WGS 84	Kynnäs, jonka rannoille on kertynyt turvetta sen kohotessa merenpinnan yläpuolelle. Alueelta monta ajoitettua rantapintaa välillä noin 5600-1400 BP.	99-50	4012 BP	4012			Turpeesta tehty kalibroitu 14C ajoitus.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista.	Holocene sea-level variation and spit development: data from Skagen Odde, Denmark. Clemmensen et al. 2001. The Holocene Vol 11 sivut 323-331.		
32	Madtjärn (Järvi)	12°10'22" E	58°36'10" N	135 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	Noin 11000 BP	12508		12928	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savillejun rajalla tapahtuvasta pilevä-stratigrafisesta muutoksesta. Ajoitus 14C menetelmällä. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista, arvioitu artikkelin kartan avulla karkeasti.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
33	Nedre Draketjärn (Järvi)	12°10'48" E	58°36'07" N	134,5 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	11100-11000 BP	12587		12965	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savillejun rajasta. Ajoituksessa sitelöypstratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista, arvioitu artikkelin kartan avulla karkeasti.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
34	Nordängssjön (Järvi)	12°08'50" E	58°23'37" N	124,5 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	noin 10800 BP	12252		12764	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savillejun rajalla tapahtuvasta pilevä-stratigrafisesta muutoksesta. Ajoitus 14C menetelmällä. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Geohack palvelun avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
35	Lillesjön (Järvi)	12°08'37" E	58°35'32" N	122 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	noin 10500 BP	11671		12454	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savillejun rajasta. Ajoituksessa sitelöypstratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Geohack palvelun avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment

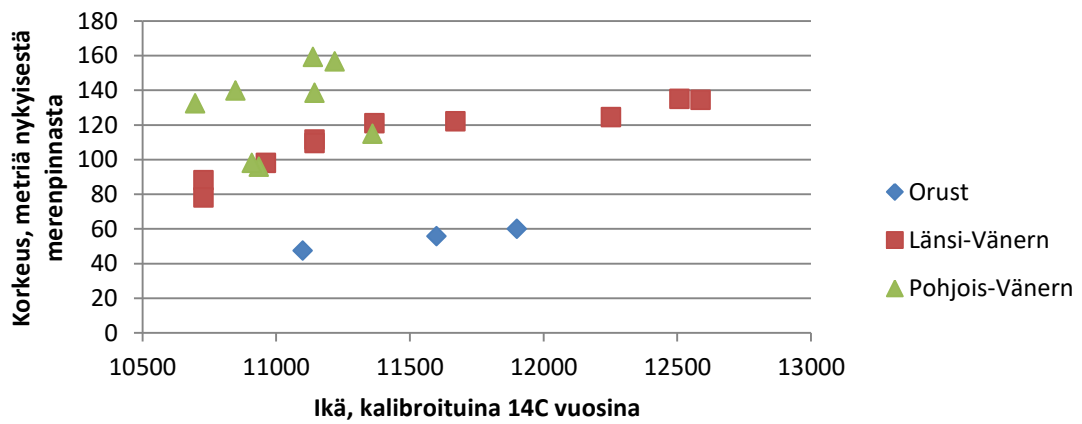
		x	y	z	koordinaattityyppi	muodostuma tyyppi	Laboratorionumero	ikä artikkelissa	Käytetty ikä	Uudelleenkalibroitu ikä	Menetelmä	Lisätietoa	Lähde	kalibrointimenetelmä	peruste
36	Mjövattnet (järvi)	12°06'14" E	58°35'47" N	121 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	noin 10300 BP	11368	12114	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savileijun rajasta. Ajoituksessa siitepölystratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Geohack palvelun avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
37	Fäsjön (järvi)	12°06'00" E	58°33'37" N	111,5 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	10200-10100 BP	11144	11760	Ajoitus järven pohjasedimenteissa tapahtuvasta piilevä-stratigrafisesta muutoksesta. Ajoituksessa siitepölystratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Google Mapsin avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
38	Tossesjön (järvi)	12°04'52" E	58°34'01" N	109,5 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	10200-10100 BP	11144	11760	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savileijun rajasta. Ajoituksessa siitepölystratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Google Mapsin avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
39	Fölesjön (järvi)	12°02'54" E	58°34'51" N	98 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	Noin 10000 BP	10962	11512	Ajoitus järven pohjasedimenteissa tapahtuvasta piilevä-stratigrafisesta muutoksesta. Ajoituksessa siitepölystratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Geohack palvelun avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
40	Björvattnet (järvi)	12°02'08" E	58°34'21" N	88 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	9900-9700 BP	10728	11220	Ajoitus järven pohjasedimenteissa saven ja savileijun rajasta. Ajoituksessa siitepölystratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Google Mapsin avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
41	Bollungssjön (järvi)	12°10'08" E	58°34'30" N	78 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Skagerakista regression aikana.	puuttuu	9900-9700 BP	10728	11220	Ajoitus järven pohjasedimenteissa tapahtuvasta piilevä-stratigrafisesta muutoksesta. Ajoituksessa siitepölystratigrafiset muutokset on korreloitu läheisen madtjärnin järven 14C ajoituksen kanssa. 14C iät kalibroimattomia.	Koordinaatit puuttuivat artikkelista. Haettu Geohack palvelun avulla.	Allerød-Younger Dryas sea level change in southwestern Sweden and their relation to Baltic ice lake development. Björck & Digerfeldt 1991. Boreas Vol 20 sivut 115-133.	Marine	Artikkelin mukaan marine sediment
42	Tryggjärnet (järvi)	12°40' E	59°12' N	156,5 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	ikä taulukossa, siitepölystä arvioitu ei labra tunnusta	9800 14C BP	11219	11220	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
43	Kultjärn (järvi)	12°59' E	59°38' N	159,1 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	IÄT TAILUKOSTA, TAILUKOSSA 2 IKÄÄ; 14C JA SIITEPÖLY	9700-9650 14C BP	11138	11010	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
44	Långtjärnet (järvi)	12°59' E	59°12' N	138,5 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	Ua-2790	9755 +/- 115 14C BP	11144	11141	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
45	Igeltjärn (järvi)	12°44' E	59°18' N	139,8 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	IÄT TAILUKOSTA, TAILUKOSSA 2 IKÄÄ; 14C JA SIITEPÖLY	9425-9600 14C BP	10848	10844	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
46	Tapptjärn (järvi)	12°52' E	59°30' N	132,3 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	IÄT TAILUKOSTA, TAILUKOSSA 2 IKÄÄ; 14C JA SIITEPÖLY	9700-9125 14C BP	10697 rajatapaus, hyväksytty (Yoldiamerivaihe päättyi 10700 vuotta sitten)	10695	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
47	Igeltjärnet (järvi)	12°49' E	59°31' N	114,8 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	IÄT TAILUKOSTA, TAILUKOSSA 2 IKÄÄ; 14C JA SIITEPÖLY	10075-9650 14C BP	11360	11351	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
48	Grytterudstjärnet (järvi)	12°38' E	59°11' N	95,8 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	IÄT TAILUKOSTA, TAILUKOSSA 2 IKÄÄ; 14C JA SIITEPÖLY	9600-9550 14C BP	10935	10921	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
49	Skutsbolstjärnet (järvi)	12°49' E	59°33' N	98 metriä	WGS 84	Järvi joka kuroutui Väneristä regression aikana.	IÄT TAILUKOSTA, TAILUKOSSA 2 IKÄÄ; 14C JA SIITEPÖLY	9600-9575 14C BP	10909	10931	13C korjattu, kalibroimaton 14C ikä	Koordinaatit artikkelista	Early Holocene shore displacement and evidence of irregular isostatic uplift northwest of Lake Vänern, western Sweden. Risberg et al. 1996. Journal of Paleolimnology Vol 15 sivut 47-63.	Intcal?	Järvi kuroutui lahdessa kaukana valtamerestä (matala marine C?)
50	Ormaberget (järvi)	13117.7 E	62918.9 N	53,3 metriä	RT90	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	13000 +/- 300 BP	15522	15540	14C ikä, kalibroimaton. Tarkat iät Berglund 1995 mukaan Berglund et al. 1994 perusteella	Koordinaatit artikkelista (RT 90 muodossa, ruotsin kansallinen koordinaatisto)	The Late Weichselian in Halland, Southwestern Sweden: A pollen-analytical study. Berglund et al. 1994. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar Vol 116 sivut 215-230. Tarkat iät artikkelista Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. Berglund 1995. Boreas Vol 24 sivut 324-344.	Intcal	Reservoir effect jo huomioitu
51	Slättan (järvi)	13276.0 E	62595.5 N	14,7 metriä	RT90	Järvi joka kuroutui Kattegatista regression aikana.	puuttuu	11000 +/- 100 BP	12880	12920	14C ikä, kalibroimaton. Tarkat iät Berglund 1995 mukaan Berglund et al. 1994 perusteella	Koordinaatit artikkelista (RT 90 muodossa, ruotsin kansallinen koordinaatisto)	The Late Weichselian in Halland, Southwestern Sweden: A pollen-analytical study. Berglund et al. 1994. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar Vol 116 sivut 215-230. Tarkat iät artikkelista Late Weichselian shore displacement in Halland, southwestern Sweden: relative sea-level changes and their glacio-isostatic implications. Berglund 1995. Boreas Vol 24 sivut 324-344.	Intcal	Reservoir effect jo huomioitu
52	Smakkerup Huse (Sjælland)	11°14'05"E	55°41'N	0,1 metriä merenpinnan alla	WGS 84	Rantapinta	AAR-3782	5060 BC (muutettu BP lisäämällä 1950)	7010		Kalibroitu 14C. Ikä annettu BC muodossa, muutettu BP muotoon lisäämällä 1950. Iän määrittää tammi joka on kuollut todennäköisesti merenpinnan noustessa.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista. Korkeus arvioitu artikkelin kuvan perusteella, ei mainita tekstissä. (Arkeologinen artikkeli)	Prehistoric settlements and Holocene relative sea-levelchanges in north-west Sjælland, Denmark. Hede 2003. Bulletin of the Geological Society of Denmark Vol 50 sivut 141-149. (Artikkeli löytyy googlستا, ei helkasta)		
53	Wismar Bay 1 (Saksa)	11°27'25.0"E	54°03'00"N	7 metriä merenpinnan alla	WGS 84	Meren alle jäänyt kivikautinen asuinpaikka.	Tekstistä	Noin 5100 BC (Muutettu BP muotoon lisäämällä 1950)	7050		Kalibroitu 14C. Ikä annettu BC muodossa, muutettu BP muotoon lisäämällä 1950.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella puuttuivat artikkelista. (Arkeologinen artikkeli)	Submarine Stone Age settlements as indicators of sea-level changes and the coastal evolution of the Wismar Bay area. Lübke 2002. Greifswalder Geographische Arbeiten Vol 27, sivut 203-210.		
54	Wismar Bay 2 (Saksa)	11°21'56"E	53°59'44"N	3 metriä merenpinnan alla	WGS 84	Meren alle jäänyt kivikautinen asuinpaikka.	Tekstistä	4400-4100 BC (Muutettu BP muotoon lisäämällä 1950)	6200		Kalibroitu 14C. Ikä annettu BC muodossa, muutettu BP muotoon lisäämällä 1950.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella puuttuivat artikkelista. (Arkeologinen artikkeli)	Submarine Stone Age settlements as indicators of sea-level changes and the coastal evolution of the Wismar Bay area. Lübke 2002. Greifswalder Geographische Arbeiten Vol 27, sivut 203-210.		
55	Stavern (Norja)	10°00'00"E	59°00'50"N	55 metriä	WGS 84	Rantapinta	BT888	7730 +/- 880 BP	7730		IRSL maasälvästä.	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan perusteella, puuttuivat artikkelista.	OSL and IRSL dating of raised beach sand deposits along the southeastern coast of Norway. Fuchs et al. 2012. Quaternary Geochronology Vol 10 sivut 195-200.		
56	Eikstjønna (järvi)	9°00'16.9"E	58°37'26.8"N	81 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	24-2.	11515 +/- 255 BP	11515		Kalibroitu 14C. Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 11530 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
57	Krokstjønna Høge (järvi)	8°53'37.7"E	58°35'40.2"N	78,6 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 2	11350 +/- 200 BP	11350		Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
58	Middtjønna Høge (järvi)	8°55'18.8"E	58°35'45.2"N	68,2 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 3	11090-10600 BP	10845		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 11860 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
59	Johan Olsson-myra (järvi)	8°56'37.7"E	58°34'50.9"N	63,2 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 4	10890-10690 BP	10790		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 11780 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
60	Rosstjønna (järvi)	8°52'11.6"E	58°33'15.1"N	64 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 5	11000-10190 BP	10595		Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
61	Gladstødtjønna (järvi)	8°55'31.4"E	58°36'33.1"N	52,8 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 6	11 150-10 740 BP	10945		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 10940 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
62	Øygardstjønna (järvi)	8°54'08.3"E	58°36'39.6"N	52 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 7	10 770-10 420 BP	10595		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 10620 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
63	Kroktenna Øvre (järvi)	8°52'41.9"E	58°33'28.4"N	46,9 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 8	10 580-10 250 BP	10415		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 10490 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
64	Kroktenna Nedre (järvi)	8°52'32.9"E	58°33'24.5"N	46,7 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 9	10 520-10 240 BP	10380		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 10380 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
65	Tranberlona (järvi)	8°57'46.1"E	58°37'30.4"N	46 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 10	10 520-10 240 BP	10465		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 10470 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
66	Eikelandsmyra (järvi)	8°55'33.2"E	58°34'07.0"N	40,5 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 11	11 150-9510 BP	10330		Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
67	Kringlemyra (järvi)	8°57'29.5"E	58°32'09.2"N	37,6 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 12	10160 +/- 400 BP	10160		Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
68	Marit Bjørgen-myra (järvi)	8°55'57.0"E	58°34'08.4"N	36,2 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 13	10 270-9940	10105		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 10190 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
69	Eidbomyra (järvi)	8°59'30.1"E	58°36'18.7"N	31,7 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 21	9740-9520	9630		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiaervo ikä" kuroutumiselle: 9610 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mappsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		

ID	Nimi	x	y	z	koordinaattityyppi	muodostuma tyyppi	Laboratorionumero	ikä artikkelissa	Käytetty ikä	Uudelleenkalibroitu ikä	Menetelmä	Lisätietoa	Lähde	kalibrointimenetelmä	peruste
70	Alftsjenna (järvi)	8°54'36.7"E	58°34'29.6"N	28 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 14	9530-9310	9420		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiarvo ikä" kuroutumiselle: 9450 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
71	Midtjtjenna Låge (järvi)	8°54'45.7"E	58°34'28.2"N	27,5 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 15	9550-8600	9075		Kalibroitu 14C.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla. Järven sedimentit häiriintyneet (disturbed), tästä johtuen suuri epätarkkuus.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
72	Østre Krokjtjenna (järvi)	8°56'25.8"E	58°34'01.6"N	24,4 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 25	7530-7460	7495		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiarvo ikä" kuroutumiselle: 7490 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
73	Vestre Krokjtjenna (järvi)	8°56'15.0"E	58°33'42.8"N	24,3 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 26	7320-7170	7245		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiarvo ikä" kuroutumiselle: 7260 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
74	Revstjenna (järvi)	8°54'50.8"E	58°34'47.6"N	21,6 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 16	7200-7040	7120		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiarvo ikä" kuroutumiselle: 7160 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
75	Tjenna (järvi)	8°54'43.6"E	58°33'11.9"N	18,5 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 17	6200-5980	6090		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiarvo ikä" kuroutumiselle: 6040 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
76	Eidbotjenna (järvi)	8°58'54.5"E	58°36'21.6"N	11,5 metriä	WGS 84	Skagerrakista kuroutunut järvi	Basin 18	4170-3960	4065		Kalibroitu 14C Artikkelissa annettu myös "painotettu keskiarvo ikä" kuroutumiselle: 4100 BP.	Koordinaatit artikkelista. Muutettu DD muodosta DMS muotoon google mapsilla.	Quantifying variable rates of postglacial relative sea level fall from a cluster of 24 isolation basins in southern Norway. Romundset et al. 2018. Quaternary Science Reviews Vol 197 sivut 175-192.		
77	Barsebäckmossen 1 (järvi)	12°57'47.9"E	55°45'50.7"N	1 metri	WGS 84	Kattegatista kuroutunut järvi, ikä transgressiosta johtuvalle meren ingressiolle.	puuttuu	noin 5200 BC	7975	7968	Kalibroimaton 14C, reservoir effect huomioitu	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan avulla. ikä BC muodossa, muutettu BP muotoon lisäämällä 1950	A standard profile for Littorina transgressions in western Skåne, South Sweden. Digerfeldt 1975. Boreas Vol 4 sivut 125-142.	Intcal	reservoir effect jo huomioitu
78	Barsebäckmossen 2 (rantavalli)	12°57'47.9"E	55°45'50.7"N	4 metri	WGS 84	Korkein merenpinta alueella.	puuttuu	noin 2700 BC	5377	5374	Kalibroimaton 14C, reservoir effect huomioitu	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan avulla. ikä BC muodossa, muutettu BP muotoon lisäämällä 1950	A standard profile for Littorina transgressions in western Skåne, South Sweden. Digerfeldt 1975. Boreas Vol 4 sivut 125-142.	Intcal	reservoir effect jo huomioitu
79	Barsebäckmossen 3 (järvi)	12°57'47.9"E	55°45'50.7"N	1 metri	WGS 84	Kattegatista kuroutunut järvi, ikä regressiosta johtuvalle kuroutumiselle.	puuttuu	noin 1700 BC	3980	3979	Kalibroimaton 14C, reservoir effect huomioitu	Koordinaatit arvioitu artikkelin kartan avulla. ikä BC muodossa, muutettu BP muotoon lisäämällä 1950	A standard profile for Littorina transgressions in western Skåne, South Sweden. Digerfeldt 1975. Boreas Vol 4 sivut 125-142.	Intcal	reservoir effect jo huomioitu
80	Uggerby	10°06'37"E	57°33'57"N	8 metriä	WGS 84	Osterin kuuresta tehty ajoitus, lähellä Skagen Oddea.	K-5420	8160-8090	8125		Kalibroitu 14C	Koodinaatit google mapsista kylälle, artikkelissa ei karttaa näytepaikasta eikä sen koordinaatteja, mainittin vain että lähellä kylää.	Holocene coastal and faunal development of the Skagen odde, Northern Jutland, Denmark. Petersen K.S. 1991 Quaternary International Vol 9 sivut 53-60.		
81	Yderhede	10°24'13"E	57°28'23"N	13 metriä	WGS 84	Rantaturpeesta tehty 14C ajoitus, kalibroitu. Skagen Oddesta kaakkoon	AAR-2461	5300 BC	7250		Kalibroitu 14C	Koordinaatit arvioitu Google mapsin ja artikkelin kartan avulla.	Dating Littorina sea shore levels in Denmark on the basis of data from a mesolithic coastal settlement on Skagens Odde, Northern Jutland. Christensen & Nielsen 2008. Polish Geological society special Papers Vol 23 sivut 27-38.		

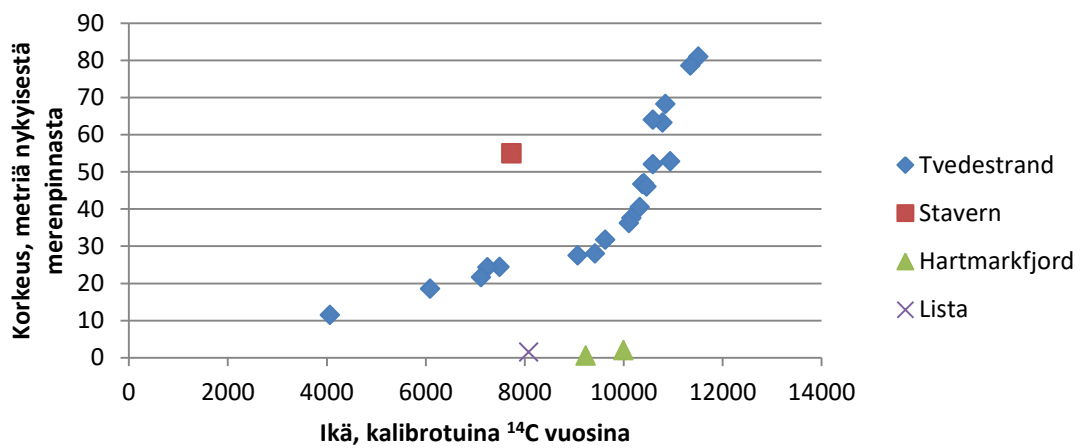
Liite 2. Rannansiirtymiskäyrät Kattegatilta ja sen lähiympäristöstä. X-akselilla ikä kalibroituina  $^{14}\text{C}$  vuosina, Y-akselilla korkeus metreinä nykyisestä merenpinnasta.



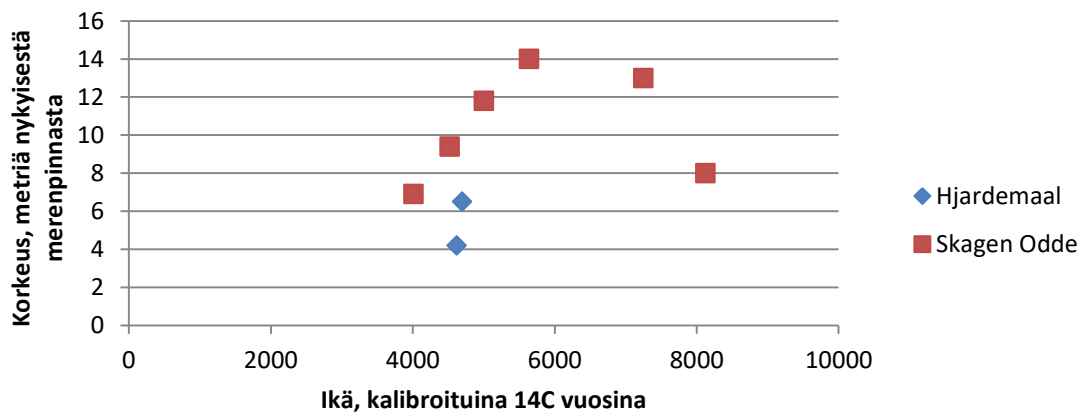
## Vänern ja Orust



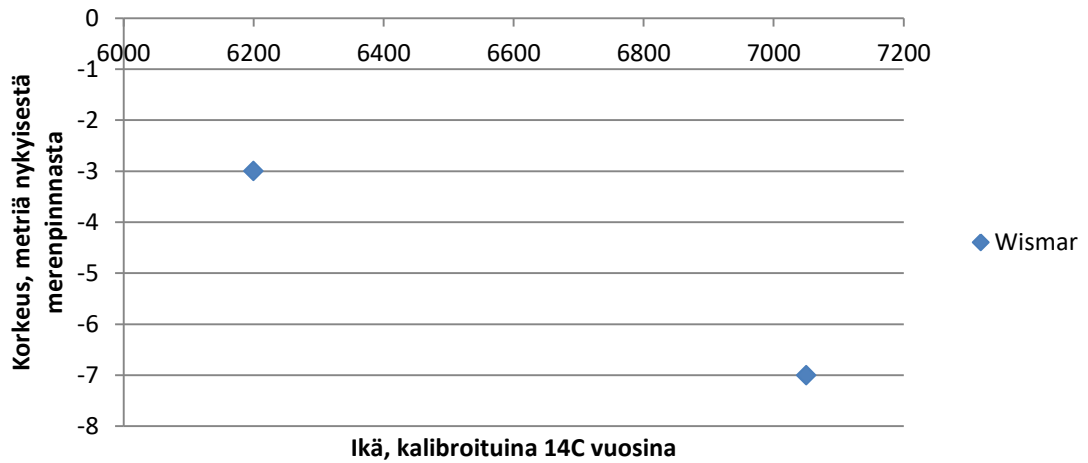
## Etelä-Norja



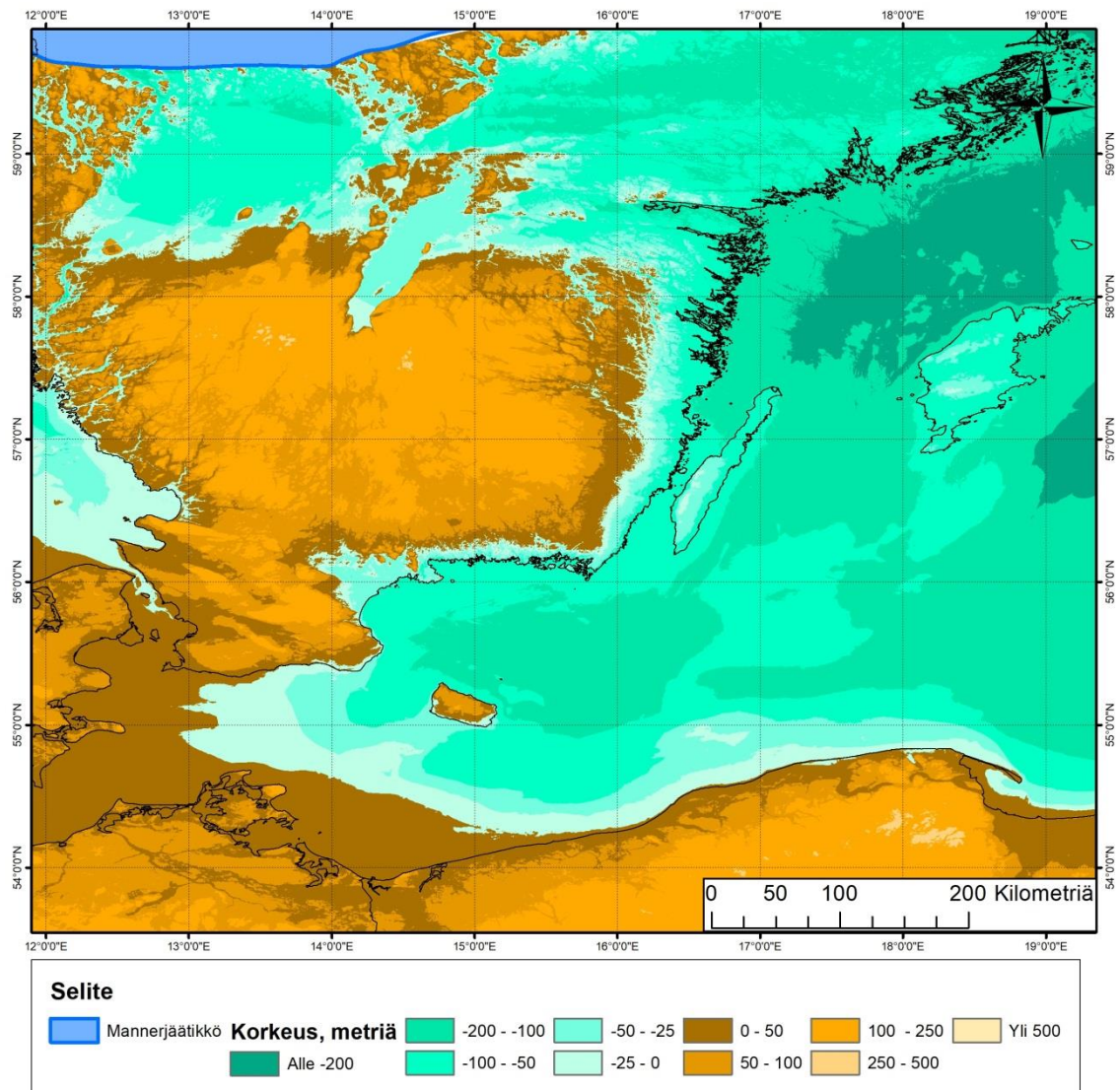
## Jyllanti



## Pohjois-Saksa







Liite 3. Lounainen Itämeren allas 11000 vuotta sitten aikaikkunassa pelkkien jäätikön reunamuotojen perusteella tehdyn mallinnuksen mukaan. Koko eteläinen Itämeri poikkeaa selvästi kirjallisuudesta. Bornholmin saari oli 11000 vuotta sitten yhteydessä mantereeseen ja Gotlannin ja Öölannin saaret olivat osittain kuivaa maata (Björk 1995). Näiden poikkeamien tulkittiin aiheuttaneen vääristymää myös mallinnettavan alueen kaakkoisosissa ja Ruotsin länsirannikolla. Lopullisella mallinnusmenetelmällä tehty versio alueesta Kuvassa 9.